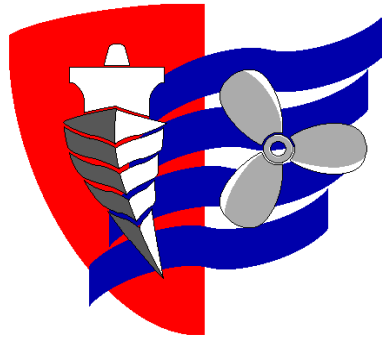


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE
EMISIONES NO_x Y SO_x**

(Study about NO_x and NO_x reduction)

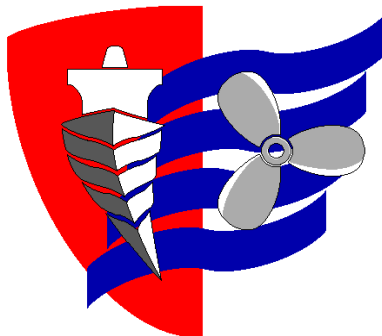
Para acceder al Título de Grado en
INGENIERÍA MARINA

Autora: Aida García Coterillo

Directora: Belén Río Calonge

Octubre – 2018

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE
EMISIONES NO_x Y SO_x**

(Study about NO_x and NO_x reduction)

Para acceder al Título de Grado en
INGENIERÍA MARINA

Octubre - 2018

ÍNDICE

Resumen	5
Palabras clave	6
Summary	6
Keywords	7
1 Antecedentes	9
1.1 La OMI	12
1.2 Convenio MARPOL	14
1.2.1 Anexo VI.....	20
1.2.2 Regulación MARPOL sobre emisiones NOx	25
1.2.3 Regulación MARPOL sobre emisiones SOx	28
1.2.4 Zonas de control de emisiones (ECAs)	29
1.2.4.1 Definición de las zonas de Control de Emisiones (ECA) ...	30
1.2.5 Designación de las zonas SECAs	33
1.3 Legislación europea.....	36
2 Metodología.....	42
3 Desarrollo	46
3.1 Óxidos de nitrógeno.....	50
3.1.1 Efectos sobre la salud	52
3.1.2 Efectos sobre el medio ambiente	52
3.2 Óxidos de azufre.....	53
3.2.1 Efectos sobre la salud	54
3.2.2 Efectos sobre el medio ambiente	54
3.3 Sistemas de reducción de emisiones NOx	55
3.3.1 Métodos pre-tratamiento	56
3.3.2 Métodos post-tratamiento.....	61

3.3.2.1	Reducción selectiva no catalítica (SNCR)	61
3.3.2.2	Reducción catalítica selectiva (SCR).....	63
3.4	Sistemas de reducción de emisiones SOx.....	69
3.4.1	Uso de combustible con bajo contenido de azufre	70
3.4.2	Técnicas de lavado de gases de escape (scrubber)	71
3.4.2.1	Scrubber de tipo seco.....	76
3.4.2.2	Scrubber de tipo húmedo	78
3.4.2.2.1	Scrubber tipo abierto	79
3.4.2.2.2	Scrubber tipo cerrado	82
3.4.2.2.3	Scrubber tipo híbrido	84
3.5	Otros sistemas de reducción de emisiones	86
3.5.1	Uso de GNL como combustible.....	86
4	Conclusiones.....	93
5	Bibliografía	96

RESUMEN

La industria naviera es responsable de aproximadamente el 14-15% de las emisiones globales de NOx y del 16% de las emisiones globales de SOx.

Estos gases aparte de ser un problema para el medio ambiente también generan problemas en la salud humana, pudiendo provocar problemas cardiovasculares y respiratorios. Por ello, el aumento de estas cantidades emitidas en todo el mundo ha obligado a la Organización Marítima Internacional a emitir una legislación marítima restringida para reducir así, los impactos ambientales adversos derivados de tales emisiones. En consecuencia, la reducción de emisiones producidas por los buques se ha convertido en unos de los principales desafíos técnicos y económicos que enfrentan los operadores de los buques.

Los buques de nueva construcción ya vienen equipados con los equipos necesarios para la reducción de estas emisiones, sin embargo los buques existentes se deberán adaptar a esta nueva normativa, es por ello que el armador deberá realizar un estudio de cuál de los métodos existentes para reducir estas emisiones es más rentable/ eficiente, lo que dependerá de las características del barco, la zona de navegación, y otros parámetros que se deberán tener en cuenta para la elección del método más `barato`, ya que al final es lo que importa.

En el presente trabajo se habla en detalle de los principales métodos existentes para la reducción de las emisiones NOx y SOx, tanto las medidas primarias (o métodos pre-tratamiento), es decir, se actúa directamente sobre el proceso de combustión del motor evitando la formación de sustancias contaminantes y, las medidas secundarias (o métodos post.tratamiento), en las que se actúa sobre los gases de escape para tratar de eliminar las sustancias y evitar así la dispersión.

Sin embargo, la legislación cada vez más restrictiva hace que sea muy difícil seguir desarrollando procedimientos eficientes de reducción a precios competitivos. Es por ello por lo que se esta aumentando el uso de combustibles alternativos como puede ser el gas natural licuado (LNG). Aunque el Gas Natural Licuado parece una de las opciones más viables de

futuro, debido a sus grandes ventajas, también aporta sus problemas. Entre ellos, ya se pueden destacar tres: la necesidad de terminales que avituallen, la mayor exigencia de espacio para ubicar los tanques de combustible en los buques, y los riesgos de su utilización.

PALABRAS CLAVE

Marpol VI, NOx, SOx, torre de lavado

SUMMARY

The shipping industry is responsible for approximately 14-15% of global NOx emissions and 16% of global SOx emissions.

These gases, apart from being a problem for the environment, also generate problems in human health causing cardiovascular and respiratory problems. The increase in number of ships worldwide has forced the International Maritime Organization ("IMO") to issue some restrictive legislation in order to reduce the adverse environmental impact arising from such emissions. Consequently, a reduction in ship emissions became one of the main technical and economic challenges that ship operators must face.

The ships in construction are already fitted with the necessary equipment to reduce these emissions, however existing ones must adapt to these new regulations. Therefore, the shipowner should carry out a feasibility study of the existing methods of reducing these emissions to determine the most profitable and efficient way. This will depend on the features of the ship, the navigation area, and other parameters that should be considered to help choose the "cheapest" process. In the end this is what matters.

In this review we talk in detail about the existing methods for the reduction of NOx and SOx emissions. This includes the primary measures (or pre-treatment methods), which involve acting directly on the combustion process

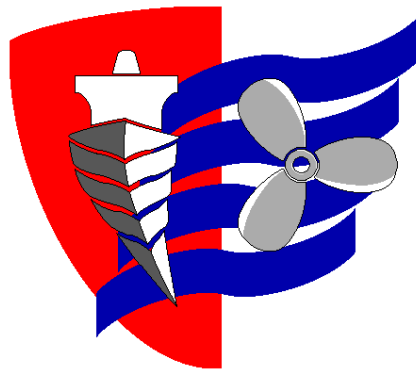
of the engine to avoid the formation of polluting substances. Also, there are secondary measures (or post-treatment methods), in which the gases are treated to eradicate the substances and avoid their dispersion.

Nevertheless, the increasingly constricting legislation makes very difficult to continue developing efficient reduction procedures at competitive prices. Accordingly, the use of alternative fuel like Liquefied Natural Gas ("LNG") is rising. Although LNG seems to be one of the most viable options for the future due to its great advantages, it also has its own downfalls. Three of them can be highlighted: the need of stations that provide fuel, the requirement for extra space to contain larger fuel tanks on ships, and simply the risks of its use.

KEYWORDS

Marpol VI, NOx, SOx, scrubber

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANTECEDENTES

1 ANTECEDENTES

‘El crecimiento económico y protección del medio ambiente no son compatibles. Son los lados opuestos de la misma moneda si buscas prosperidad a largo plazo’, Paulson, H. (1986).

El tráfico marítimo es un mercado que crece exponencialmente cada año debido, entre otros, a factores como los nuevos mercados, rutas de paso o a la situación económica y política, local y mundial. Se prevé un constante crecimiento del tráfico marítimo en los próximos años, principalmente por ser el método más adecuado para el transporte a gran escala. Según un estudio realizado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) y publicado por Oliva de la Costa, E. (2016), en la revista ‘Ingeniería Naval’, las previsiones a medio plazo están en torno a un crecimiento anual compuesto del 3,2% entre 2017 y 2022.

A pesar de la crisis económica actual se observa un aumento sustancial de este mercado gracias a los países emergentes como China, Rusia, Sudáfrica, Brasil o India, que modifican el comercio mundial de importación y exportación, incorporando nuevas rutas comerciales, mientras que otras existentes pierden importancia.

Desde el punto de vista ambiental, el transporte marítimo supone un sector a tener en cuenta ya que es el principal responsable de una parte importante de las emisiones globales. El transporte de carga y pasajeros es una de las actividades que genera más contaminación ambiental. Si que es cierto que, aunque el sector del transporte marítimo sea el que menos contamina, lo hace, y esa es la cuestión. A continuación, podemos observar un gráfico que comprara las emisiones de CO₂ de diferentes medios de transporte, publicado por Oliva de la Costa, E. (2016), que presenta diferentes cuestiones de qué medio de transporte es más eficiente para varios casos.

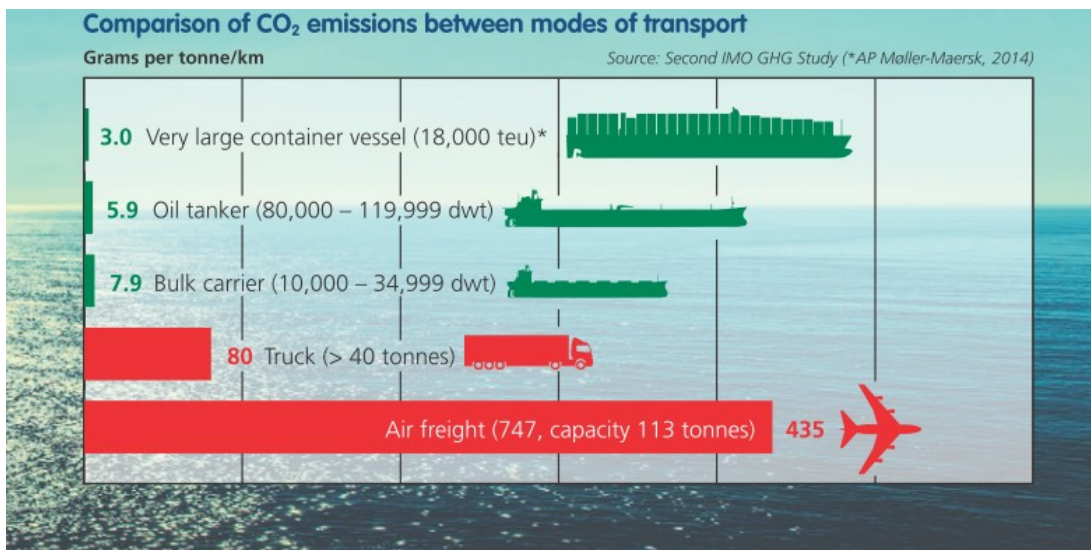


Ilustración 1: Comparación sobre las emisiones de CO₂ e los diferentes medios de transporte.

Fuente: ICS, (2014)

Ahora bien, el aumento de conciencia de la humanidad respecto al grave peligro que acarrearán los gases contaminantes tanto para el medio ambiente como para la salud, ha traído consigo la necesidad de tomar medidas para revertir esta situación mejorando la eficiencia de las instalaciones.

En lo que respecta al transporte marítimo tiene que cumplir con las regulaciones prescriptas por la OMI a través del Anexo VI del MARPOL, en la cual se regulan las emisiones atmosféricas producidas por los buques, el cual desarrollaremos en profundidad más adelante.

A raíz del endurecimiento de estas regulaciones, los armadores han tenido que tomar decisiones drásticas, tales como utilizar combustibles con un bajo contenido en azufre o incorporar instalaciones a bordo para la limpieza de gases. Ambas decisiones anteriormente nombradas, suponen un gran coste para el armador, que deberá cumplir con las regulaciones de carácter obligatorio, con respecto a las emisiones NO_x Y SO_x, en las zonas de control de emisiones (ECA) y en puertos europeos, cuyo incumplimiento puede acarrear grandes consecuencias económicas incluso la prohibición de navegabilidad del barco. (IMO, 2018)

Sí que es verdad, que con el paso de los años se desarrollan métodos y tecnologías nuevas para enfrentar estos problemas. A veces, la elección de un método no resulta fácil, no solo por el coste económico que conlleva si no principalmente por el factor espacio. Este es uno de los principales impedimentos a la hora de decidirse por un tipo de tecnología u otra, ya que un dispositivo de limpieza necesita de otros equipos anexos cuya ubicación a veces resulta imposible.

Muchos armadores, que no disponen del espacio necesario, se ven obligados a utilizar combustibles con bajo contenido en azufre lo que supone un incremento del gasto de combustible.

Otros factores a tener en cuenta para la elección del método para reducir estas emisiones, será el tiempo que navega el buque en zonas de control y estancia en la misma, así como los años de vida útil del buque, factor importante en los cálculos de tiempo para amortizar la inversión.

Los buques de nuevas construcciones lo tienen más fácil ya que estos se construirán con la posibilidad y garantías de cumplir con los reglamentos respecto a los límites de emisiones, presentes y futuras.

El Gas Natural Licuado (GNL) como combustible es otro ejemplo sostenible para el medio ambiente ya que elimina sustancialmente las partículas NO_x y SO_x, aunque supone grandes inversiones a bordo y en el puerto. Consciente de los problemas ambientales, la Comisión Europea ha seleccionado el proyecto 'CORE LNGashive' para impulsar el uso del GNL como combustible habitual en el transporte marítimo y así lo ha publicado Morales, G. (2016) en el artículo *"Gas natural licuado: el futuro del transporte marítimo sostenible"*.

Los principales métodos para la reducción de estas emisiones, los cuales han sido nombrados anteriormente, se desarrollarán en profundidad en los puntos siguientes.

1.1 LA OMI

‘La misión de la Organización Marítima Internacional (OMI), en su calidad de organismo especializado de las Naciones Unidas, es fomentar, a través de la cooperación, un transporte marítimo seguro, protegido, ecológicamente racional, eficaz y sostenible. Esta misión se cumplirá mediante la adopción de las normas más estrictas posibles de protección y seguridad marítimas, eficacia de la navegación y prevención y control de la contaminación ocasionada por los buques, así como mediante la consideración de los asuntos jurídicos conexos y la implantación efectiva de los instrumentos de la OMI para que se apliquen de manera universal y uniforme. IMO, (2018).

A finales de los 80, la Organización Marítima Internacional (OMI) inició la labor para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques. Esta labor se realizó a partir de información científica sobre los efectos que causaban en los ecosistemas y en la salud humana, las emisiones a la atmósfera procedentes de diversos sectores, siendo los buques uno de ellos. Esto supuso cierta desviación dado que, anteriormente, la Organización se había centrado en fuentes de combustibles más visibles como puede ser el vertido de hidrocarburos sufridos por los buques ya que los efectos perjudiciales a largo plazo de los gases de escape de los buques no eran tan aparentes y, por tanto, no habían sido plenamente reconocidos con anterioridad.

Siempre se ha reconocido que la mejor manera para asegurar la seguridad del mar es mediante la elaboración de normas internacionales que sean observadas por todas las naciones que se dediquen al transporte marítimo, y a partir de mediados del siglo XIX comenzaron a adoptarse una serie de tratados internacionales. Varios países propusieron el establecimiento de un organismo internacional de carácter permanente con miras a promover la seguridad marítima de forma más eficaz, pero no fue sino hasta el

establecimiento de las Naciones Unidas que estas esperanzas se convirtieron en realidad. En 1948, en el marco de una conferencia internacional que tuvo lugar en Ginebra, se adoptó un convenio por el que se constituyó formalmente la Organización Marítima Internacional (OMI) -llamada en aquellos tiempos “Organización Consultiva Marítima Intergubernamental” (OCMI); en 1982 se cambió al nombre actual, OMI. El Convenio constitutivo de la OMI entró en vigor en 1958 y la nueva Organización se reunió por primera vez el año siguiente.

Los objetivos de dicha organización y que se reseñan en el Artículo 1 a) del Convenio, (Marpol, 2017) son principalmente: “Depurar un sistema de cooperación entre los Gobiernos en la esfera de la reglamentación de las prácticas gubernamentales relativas a cuestiones técnicas de toda índole concernientes a la navegación comercial internacional; alentar y facilitar la adopción general de normas tan elevadas como resulte factible en cuestiones relacionadas con la seguridad marítima, la eficiencia de la navegación y la prevención y contención de la contaminación del mar ocasionada por los buques”. La Organización también está capacitada para ocuparse de los asuntos administrativos y jurídicos relacionados con estos objetivos. Por otro lado, no cabe duda de que la OMI ha progresado mucho desde su creación.

La OMI vio la luz en un mundo agotado por la guerra, en el que las antiguas potencias coloniales aún eran dominantes en lo que a prosperidad y el comercio se refiere. Como resultado de ello, esos países también eran las principales potencias en el ámbito del transporte marítimo y, como tales, tenían tendencia a crear sus propias reglas con respecto a la construcción naval y a la seguridad y la dotación de los buques, entre otros aspectos.

Entre los temas fundamentales del orden del día de la OMI para el intervalo 2010-2020 cabe citar -la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques, permitiendo de ese modo que la OMI realice su contribución a la problemática del cambio climático.

La misión de la OMI en su calidad de organismo especializado de las Naciones Unidas, es fomentar, a través de la cooperación, un transporte marítimo

seguro, protegido, ecológicamente racional, eficaz y sostenible. Esta misión se cumplirá mediante la adopción de las normas más estrictas posibles de protección y seguridad marítima, eficacia de la navegación y prevención y control de la contaminación ocasionada por los buques, así como mediante la consideración de los asuntos jurídicos conexos y la implantación efectiva de los instrumentos de la OMI para que se apliquen de manera universal y uniforme.

1.2 CONVENIO MARPOL

El convenio MARPOL 73/78 es un documento donde se recogen una serie de normas aplicadas a los desechos generados por los buques como consecuencia de su actividad.

El primer borrador de este convenio consta del año 1973. Los acontecimientos que motivaron su creación comenzaron a producirse a principios del siglo XX, cuando la industrialización y la aparición del automóvil aumentaron de forma considerable la demanda de hidrocarburos y el tráfico marítimo mundial. Otros acontecimientos que impulsaron la construcción de buques fueron las guerras mundiales, que incrementaron la creación de buques de guerra y buques tanque.

En los años 50 toma fuerza la necesidad de satisfacer la demanda energética por lo que se dispara la explotación masiva de campos de petróleo de Oriente y los países del Golfo Pérsico.

Estos acontecimientos influyeron directamente en el tamaño y cantidad de los buques tanque, llegándose a construir buques de hasta 100.000 toneladas de peso muerto a finales de esta década. Es importante señalar que en el año 1956 como consecuencia de la denominada 'Guerra de los 7 días' entre Egipto e Israel el paso del 'Canal de Suez' permaneció cerrado, por lo que la ruta de unión entre Asia y Europa debía realizarse rodeando el cabo de Buena Esperanza, lo que prolongaba notablemente el tiempo, de cruzarlo en 15 días que se tardaba por el Canal de Suez a 30 días que suponían por el 'Cuerno

de África', por lo que los armadores se vieron obligados a construir buques más grandes para rentabilizar los trayectos. Estos pasaron de 200.000 toneladas en 1960 a 500.000 toneladas pocos años después. (García, R. 2016).

Todos estos sucesos constituían un serio peligro de contaminación marina, por lo que la comunidad internacional decidió construir un convenio para prevenir este riesgo. En 1954 se convoca en Reino Unido, una Conferencia Diplomática que aprobó un Convenio denominado 'Convenio OILPOL 1954', el cual entra en vigor en 1958.

Este convenio OILPOL reconocía que el mayor peligro de contaminación marina por hidrocarburos provenía de las operaciones rutinarias de los buques. Por este mismo motivo se decide establecer la prohibición de descarga de las mezclas de hidrocarburos y aguas a menos de una determinada distancia de costa, así como en las denominadas 'Zonas Especiales' donde la sensibilidad del ecosistema recomienda unas medidas anti-contaminación más estrictas. Es en 1962, mediante una enmienda al convenio, cuando se ampliaron los límites de estas zonas (García, R. 2016). Estas zonas se desarrollarán más detenidamente en los siguientes puntos.

La Conferencia Diplomática asignó determinadas funciones a la 'Organización Consultiva Marítima Intergubernamental (OCMI)', predecesora de la actual 'Organización Marítima Internacional (OMI)' para cuando el Convenio Constitutivo de dicha organización entrara en vigor, hecho que ocurrió en 1958, meses antes de la entrada en vigor del OILPOL.

A pesar de las medidas adoptadas por el convenio OILPOL, estas se vieron insuficientes cuando en marzo de 1967 el petrolero "TorreyCanyon" por culpa de un error de navegación golpeó contra los arrecifes de Seven Stones, Inglaterra. (Cooper, T. y Green, A. 2017). Como consecuencia del violento impacto rasgó y abrió seis de sus tanques, además de dejar otros muy maltrechos. Este fue el primer gran vertido de crudo de la historia, por lo que no había ninguna planificación a seguir. Se acometieron varios intentos sin

éxito de reflotar el barco y un miembro del equipo de salvación falleció. (López, J.C. 2018).

Las 120.000 toneladas de crudo ayudadas por golpes de mar, generaron en unos pocos días una inmensa marea negra, que alcanzó las costas y playas de Cornwall, Isla de Guernsey y litoral francés de la Bretaña (López, J.C, 2018).

Alrededor de 180 km de costas inglesas y 80 km de costas francesas fueron contaminadas, y murieron unas 15.000 aves marinas aproximadamente. Mayor aun fue el daño causado por el uso de detergentes para intentar controlar la mancha. Más de 10.000 toneladas de sustancias químicas fueron utilizadas sobre el petróleo para emulsionarlo y recogerlo. (López, J. C, 2015).

Como consecuencia de esta catástrofe y así lo publica López, J.C., (2018), el Comité liberiano juzgó al comandante del Torrey Canyon, Capitán Rugiati, considerándolo único responsable de lo ocurrido, recomendando la invalidación de su título. Finalmente, la recomendación no se llevó a efecto y el tiempo le ha consagrado finalmente como una víctima de las circunstancias, lo que debió servirle de escaso consuelo ya que este hecho acabó sus días como marino: Posteriormente regresó a su país y no volvió a mandar un buque.

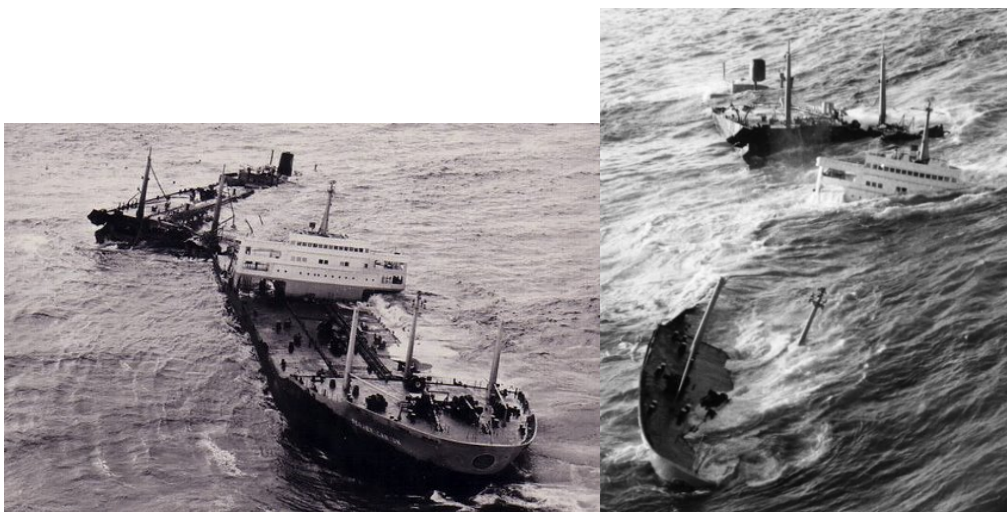


Ilustración 2 y 3. Varada del petrolero 'TorreyCanyon'

Fuente: Castorani, J., (2012).

La primera consecuencia después de este accidente fue la convocatoria por la OMI de un periodo extraordinario de sesiones del Consejo con el fin de desarrollar un plan de acción sobre los aspectos jurídicos y técnicos del suceso que posteriormente reflejarían en diversas enmiendas al Convenio OILPOL.

Las siguientes consecuencias fueron la sensibilización de la Comunidad Internacional sobre la gran cantidad de buques potencialmente contaminantes (buques petroleros y buques de transporte de cargas tóxicas o peligrosas), lo que impulsó la idea de revisar nuevamente el Convenio en profundidad, ya que se mostraba insuficiente aun después de haber sido modificado con el añadido de nuevas enmiendas.

En 1969 la Asamblea de la OMI adopta la decisión de convocar una conferencia internacional para comenzar la elaboración de un nuevo convenio, que aplicando las reglas existentes en el convenio OILPOL tuviera un ámbito de aplicación mayor. Los trabajos preparatorios se realizaron en 1970 y la Conferencia Diplomática adopta el 'Convenio MARPOL 73' celebrado entre los meses de octubre y noviembre de 1973. Este Convenio ya presentaba una estructura similar al actual con 1 Protocolo y 5 Anexos técnicos referentes a hidrocarburos, productos químicos, mercancías contaminantes transportadas en contenedores, aguas sucias y basuras. Hasta entonces la estructura de Convenio MARPOL era la siguiente (García, R, 2016):

- Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.
- Anexo II: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel.
- Anexo III: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos.
- Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques.
- Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación por las basuras de los buques.

Los estados que ratificaran este Convenio estaban obligados a adoptar y cumplir el Protocolo y los 2 primeros anexos; es decir el de hidrocarburos y el de productos químicos. Los demás anexos se podían adoptar de forma separada y voluntaria.

El procedimiento de entrada en vigor a escala internacional requería la ratificación de al menos 15 estados cuyas flotas mercantes combinadas supongan al menos el 50% del tonelaje mundial. Esta condición dificultó una rápida entrada en vigor ya que hasta 1976 solo se habían recibido 3 ratificaciones (Kenia, Jordania y Túnez) que representaban menos del 1% del tonelaje mundial.

Entre los años 1976 y 1977 se produjeron numerosos accidentes petroleros, lo cual dio origen a una nueva conferencia internacional sobre seguridad de buques tanque y prevención de la contaminación, que dio origen al Protocolo de 1978 del Convenio. Como el Convenio MARPOL 73 aún no había entrado en vigor, el Protocolo 78 se incorporó al del 73, por lo que pasó a denominarse 'MARPOL 73/78'.

El convenio MARPOL 73/78 entró en vigor el 2 de octubre de 1983 para ambos Protocolos y los Anexos obligatorios I y II. (García, R, 2016).

En 1997 se adoptó el Anexo VI sobre la prevención de la contaminación atmosférica. La estructura del Convenio MAPROL pasó a ser la siguiente:

- Anexo I.- Reglas para prevenir la contaminación por Hidrocarburos.
- Anexo II.- Reglas para prevenir la contaminación por Sustancias Nocivas Líquidas Transportadas a Granel.
- Anexo III.- Reglas para prevenir la contaminación por Sustancias Perjudiciales Transportadas por Mar en Bultos. Se trata de un anexo opcional ya que el transporte de mercancías peligrosas está reglado por el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas.
- Anexo IV.- Reglas para prevenir la contaminación por las Aguas Sucias de los Buques.

- Anexo V.- Reglas para prevenir la contaminación por las Basuras de los Buques.
- Anexo VI. - Reglas para prevenir la contaminación Atmosférica ocasionada por los Buques. Este anexo entró en vigor el 19 de mayo de 2005.

Junto con los seis anexos anteriormente nombrados el convenio consta de una Introducción; el texto del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques de 1973, el Protocolo de 1978 relativo al Convenio 1973 y el Protocolo de 1997 que enmienda el Convenio de 1973 modificado por el Protocolo de 1978.

A continuación, se muestra una tabla que he realizado, con las principales fechas de interés sobre la historia del Convenio MARPOL:

Tabla 1. Fechas de interés sobre la historia del Convenio MARPOL

Fuente: Propia

FECHA	ACONTECIMIENTO
1954	Se aprueba en el Reino Unido el Convenio PILPOL 1954
1956	Entrada en vigor del Convenio OILPOL
1962	Enmienda del Convenio OILPOL
1969	Conferencia Internacional nuevo Convenio
1972	Conferencia de Estocolmo
Nov de 1973	La OMI ADOPTA EL Convenio Internacional para la Prevención de la contaminación de los buques
1974	Convenio sobre la seguridad de la vida humana en el mar
1978	Protocolo 78 se incorpora al del 73

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

1979	Conferencia ministerial en Ginebra. Convenio sobre la contaminación atmosférica fronteriza.
2 oct 1984	Entrada en vigor del MARPOL 73/78 (anexos I yII)
6 oct 1984	España ratifica el Convenio MARPOL

1.2.1 ANEXO VI

En la siguiente tabla que he realizado con información obtenida del Marpol, (2017) se muestran las fechas que he considerado más relevantes durante el proceso de formación del Anexo VI:

Tabla 2. Fechas de interés en la historia de formación del Anexo VI

Fuente: Propia

FECHA	ACONTECIMIENTO
1997	Se adopta el Anexo VI
19 may 2005	Entrada en vigor Anexo VI
22 nov 2006	Entrada en vigor enmiendas 2005. Enmiendas al Anexo VI y al Código Técnico sobre los NO _x
1 jul 2010	Entrada en vigor enmiendas 2008 Anexo VI
1 agos 2011	Entrada en vigor enmiendas 2010 Anexo VI
1 feb 2012	Entrada en vigor enmiendas 2010 Anexo VI. Modelo revisado del suplemento del certificado IAPP

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

1 ene 2013	Entrada en vigor enmiendas 2011 Anexo VI. Enmiendas a las Reglas 13 y 14 del Anexo VI
1 ene 2013	Entrada en vigor enmiendas 2011 Anexo VI. Reglas sobre la eficiencia energética de los buques

En el año 1997 se adopta un nuevo Anexo, el Anexo VI, en el cual se restringen los principales contaminantes atmosféricos contenidos en los gases de escape de los buques, principalmente los óxidos de azufre (en adelante SO_x) y los óxidos de nitrógeno (en adelante NO_x), y se prohíben las emisiones deliberadas de sustancias que agotan la capa de ozono. Este Anexo también es el encargado de regular la incineración a bordo, así como las emisiones de compuestos volátiles (COV) procedentes de los buques tanque.

Tras la entrada en vigor el 19 de mayo de 2005 del Anexo VI del Convenio MARPOL, El Comité de Protección del Medio Ambiente (MEOC), en julio de 2005, acordó revisarlo con el principal objetivo de reducir los límites máximos de emisiones a partir de las mejoras tecnológicas existentes y la experiencia adquirida a través de la implantación. Tras varios años de exámenes, en octubre de 2008 el MEPC adoptó el Anexo VI revisado del Convenio MARPOL y el Código Técnico conexo sobre los NO_x 2008, que entraron en vigor el 1 de julio de 2010.

Los principales objetivos del establecimiento de este anexo son la reducción progresiva de las emisiones NO_x, SO_x y la materia particulada a nivel mundial y la creación de zonas de control de emisiones (ECA) con el fin de reducir aún más las emisiones contaminantes atmosféricos en las zonas marítimas asignadas. (OMI, 2013)

En el marco del Anexo VI, revisado, del Convenio MARPOL, el límite de contenido de azufre a nivel mundial se reducirá del actual 3.50% al 0.50% con efectos a partir del 1 de enero de 2020.

El MEPC 70, celebrado en octubre de 2016, examinó una evaluación de la disponibilidad de fueloil para informar de la decisión que deben adoptar las Partes en el Anexo VI del Convenio MARPOL, y decidió que la norma de fueloil (el límite de 0.50% del contenido de azufre) deberá entrar en vigor el 1 de enero de 2020.

Los países contratantes del Anexo VI suman un total de 70 y son los siguientes:

Alemania	Antigua y Barbuda	Arabia Saudí	Australia	Bahamas
Bangladesh	Barbados	Bélgica	Belice	Brasil
Bulgaria	Canadá	Chile	China	Croacia
Dinamarca	Eslovenia	España	EEUU	Estonia
Finlandia	Francia	Ghana	Grecia	Hong Kong
India	Irán	Irlanda	Islas Cook	Islas Marshall
Italia	Jamaica	Japón	Kenia	Kiribati
Kuwait	Letonia	Liberia	Lituania	Luxemburgo
Malaysia	Malta	Marruecos	Mongolia	Niue
Noruega	Panamá	Países Bajos	Perú	Polonia
Portugal	Reino Unido	República de Benín	República de Corea	República de Palau
Rumania	Samoa	San Cristóbal y Nieves	Serbia	Sierra Leona

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

Singapur	St. Vicente y Granadín	Suecia	Tayikistan	Trinidad y Tobago
Túnez	Tuvalu	Ucrania	Vanuatu	

Para poder hablar y entender dicho anexo deberemos tener claros una serie de conceptos que describiremos a continuación y que hemos sacado, a modo de resumen, del Capítulo 1 (regla 2) del MARPOL (Marpol, 2017):

- Por cuya construcción se halle en una fase equivalente se entiende la fase en que:
 - Comienza la construcción que puede identificarse como propia de un buque concreto;
 - Ha comenzado el montaje del buque de que se trate, utilizando al menos 50 toneladas del total estimado del material estructural o un 1% de dicho total, si este segundo valor es menor.
- Por alimentación continua se entiende al proceso mediante el cual se alimenta de desechos una cámara de combustión sin intervención humana, estando el incinerador en condiciones de funcionamiento normal, con la temperatura de trabajo de la cámara de combustión entre 850°C y 1200°C.
- Por emisión se entiende a toda liberación a la atmósfera o al mar por los buques, de sustancias sometidas a control en virtud del presente anexo.
- Por nuevas instalaciones se entiende la instalación de un buque de sistemas y equipo, incluidas las nuevas unidades portátiles de extinción, aislamiento u otros materiales después de la fecha en que el presente anexo entre en vigor, pero no la reparación o recarga de sistemas y equipos, aislamiento y otros materiales previamente

instalados, ni la recarga de las unidades portátiles de extinción de incendios.

- Por Código Técnico sobre los NO_x se entiende el Código técnico relativo a las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diésel marinos, aprobado mediante la resolución 2 de la Conferencia, con las enmiendas que introduzca la Organización.
- Por sustancias que agotan la capa de ozono se entiende las sustancias químicas de origen industrial con un amplio espectro de uso que destruyen la capa de ozono. A bordo de los buques puede haber las siguientes sustancias que agotan la capa de ozono:

Halón 1211 Bromoclorodifluorometano	Halón 1301 Bromotiifluorometano	Halón 1 14B2
CFC-1 1 Triclorofluorometano	CFC-1 2 Diclorodifluorometano	CFC-113 1, 1, 2 - Tricloro- 1, 2, 2 - trifluoroetano
CFC-114 1, 2 - Dicloro- 1, 1, 2, 2 -tetrafluoroetano-	CFC- 115 Cloropentafluoroetano	

- Por fangos oleosos se entiende todo fango proveniente de los separadores de combustible o aceite lubricante, los desechos de aceite lubricante de las máquinas principales o auxiliares y los desechos oleosos de los separadores de aguas de sentina, el equipo filtrador de hidrocarburos o las bandejas de goteo.
- Por incineración a bordo se entiende la incineración de desechos u otras materias a bordo de un buque si dichos desechos u otras materias se han producido durante la explotación normal de dicho buque.
- Por incineración de a bordo se entiende la instalación proyectada con la finalidad principal de incinerar a bordo.

- Por zona de control de las emisiones de SO_x se entiende una zona en la que es necesario adoptar medidas especiales de carácter obligatorio para prevenir, reducir y contener la contaminación atmosférica por SO_x y sus consiguientes efectos negativos en zonas terrestres y marítimas. Estas zonas se explicarán de forma más detallada en unos puntos más adelante.
- Por Protocolo del 1997 se entiende el Protocolo de 1997 que enmienda el Convenio para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el protocolo de 1978.

Respecto al ámbito de aplicación las disposiciones presentes en este anexo se aplicarán a todos los buques, salvo que se disponga expresamente otra cosa en algunas de las reglas de dicho anexo. (Marpol, 2017)

Y respecto a las excepciones, las reglas de dicho Anexo no se aplicarán:

- A las emisiones necesarias para proteger la seguridad del buque o salvar vidas en el mar
- A las emisiones resultantes de averías sufridas por un buque o por su equipo
 - Siempre que después de producirse la avería, se hayan tomado todas las precauciones razonables y necesarias para prevenir o reducir al mínimo la emisión
 - Salvo que el propietario o capital hayan actuado ya sea con la intención de causar la avería, o con imprudencia temeraria y a sabiendas de que probablemente se produciría la avería

1.2.2 REGULACIÓN MARPOL SOBRE EMISIONES NO_x

Los requisitos para las emisiones de NO_x, presentes en el Anexo VI del MARPOL, se aplican a todos los motores diésel marinos con una potencia de más de 130 kW, a excepción de aquellos que se usan en caso de emergencia, independientemente del tonelaje del buque en que se instalen los motores. La

OMI regula la emisión de óxidos de nitrógeno por niveles, año de construcción y velocidad nominal del motor.

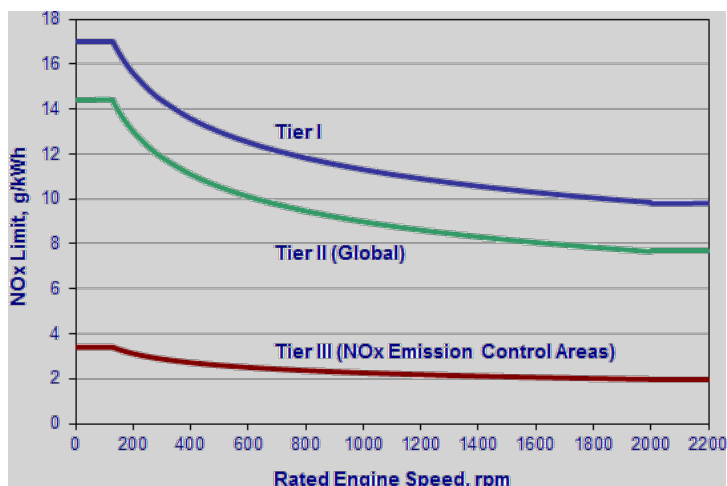


Ilustración 4. Normas aplicadas por MARPOL (Anexo VI) para emisiones NOx

Fuente: Marpol, (2017)

El control de las emisiones NOx se lleva al cabo mediante el estricto cumplimiento de las prescripciones y certificación que conducen a la expedición del Certificado Internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores (EIAPP). Este certificado es un documento aceptado a nivel internacional en que se especifica que el motor cumple con los límites de emisiones NOx establecidos por el MARPOL.

El certificado deberá ser aprobado por el Estado de abanderamiento del buque o, en nombre de este, por las Sociedades de Clasificación.

CERTIFICADO INTERNACIONAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA MOTORES

Expedido en virtud de lo dispuesto en el Protocolo de 1997, enmendado por la resolución MEPC.176(58) en 2008, que enmienda el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (en adelante llamado "el Convenio"), con la autoridad conferida por el Gobierno de:

.....
(nombre oficial completo del país)

por
(título oficial completo de la persona u organización competente autorizada en virtud de lo dispuesto en el Convenio)

Fabricante del motor	Número del modelo	Número de serie	Ciclo(s) de ensayo	Potencia nominal (kW) y régimen nominal (rpm)	Número de homologación del motor

SE CERTIFICA:

1. que el motor diésel marino antes mencionado ha sido objeto de reconocimiento para su certificación previa, de conformidad con lo dispuesto en el Código técnico relativo a las emisiones de óxidos de nitrógeno de los motores diésel marinos revisado de 2008, cuyo cumplimiento es obligatorio en virtud del Anexo VI del Convenio; y

2. que el reconocimiento para la certificación previa ha puesto de manifiesto que, con anterioridad a su instalación o puesta en servicio a bordo del buque, el motor, sus elementos, características regulables y expediente técnico cumplen plenamente las prescripciones aplicables de la regla 13 del Anexo VI del Convenio.

El presente certificado es válido durante toda la vida útil del motor, a reserva de que se efectúen los reconocimientos prescritos en la regla 5 del Anexo VI del Convenio, instalado en los buques con la autoridad conferida por este Gobierno.

Expedido en
(lugar de expedición del certificado)

(dd/mm/aaaa)
(fecha de expedición) (firma del funcionario debidamente autorizado que expide el certificado)

(sello o estampilla de la autoridad)

Ilustración 5: Certificado Internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores

Fuente: BOE num. 83, (2011)

Los motores diésel que requieren de certificado para cumplir con las preinscripciones relativas a las emisiones de NO_x son:

- Los motores diésel con una potencia superior a 130 kW instalados en buques que hayan sido construidos después del 1 de enero de 2000.

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

- Motores con más de 130 kW que hayan sido objeto de alguna transformación importantes después del 1 de enero de 2000.
- Motores en los que se haya incrementado la potencia un 10%.
- Motores que hayan sido modificados de manera significativa, lo que supone un aumento de las emisiones NO_x, como es el caso de un cambio del turbocompresor.

Los motores diésel que no requieren de certificado EIAPP son los motores que van a ser utilizados exclusivamente en caso de emergencia, como los generadores de emergencia o los motores de los botes salvavidas.

Todos los motores diésel que hayan sido certificados respecto a las emisiones NO_x deberán llevar a bordo un expediente técnico. Este documento deberá ser proporcionado por el fabricante del motor y debe contener toda la información básica para la inspección del motor. En él figuraran los parámetros principales de trabajo del motor, el régimen, ajustes, cambios y valores críticos de funcionamiento del motor en relación con los NO_x. Esta información podrá ser utilizada durante las inspecciones para asegurarse que el motor ha estado cumpliendo con las especificaciones sobre emisiones NO_x.

1.2.3 REGULACIÓN MARPOL SOBRE EMISIONES SO_x

Los buques operan cerca de las costas la mayor parte del tiempo, las emisiones producidas por estos pueden llegar a alcanzar varios cientos de kilómetros hacia el interior de la costa. Estas emisiones contaminantes son transportadas a través del viento y pueden variar en función de las condiciones meteorológicas del momento. Los valores límites para los buques que se encuentran fuera de puerto son factores también importantes. Hay valores globales y especiales (ECA), que en puntos siguientes nombraremos y definiremos. Estos valores son establecidos por la OMI.

Los controles de las emisiones de SO_x y materia particulada se aplicarán a los equipos de combustión interna que trabajen con todo tipo de combustible fósil instalados a bordo, tales como, motores principales, motores auxiliares y calderas. Estos controles se realizarán tanto a los buques que naveguen

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

dentro de las ECA, como fuera de ellas, por lo que tendrán que utilizar combustibles con el contenido de azufre correspondiente para cumplir con la normativa.

El primer nivel de control está relacionado con el contenido real de azufre declarado por el proveedor del combustible en la nota de entrega de combustible, la cual se vincula directamente con las prescripciones de calidad del combustible establecidas en la regla 18.

Los buques antes de entrar a una ECA deben de cambiar el consumo de combustible para cumplir con el 0,1% de contenido máximo de azufre, al tiempo que se plasmará por escrito todo el procedimiento realizado a bordo para el cambio de combustible en el libro de registro de hidrocarburos (se registrarán las cantidades de combustible reglamentario de la ECA de que se trate, así como la fecha, hora y situación del buque).

1.2.4 ZONAS DE CONTROL DE EMISIONES (ECAs)

En los últimos años, la protección del medio ambiente ha sido un tema de debate entre diversas organizaciones mundiales, ya que provoca una alta contaminación en ciudades, países y principalmente, en nuestros mares, la cual proviene fundamentalmente de la industrialización. El principal objetivo de estas organizaciones, por el momento no es eliminarla, pero si controlarla y disminuirla, por lo que han tomado medidas legales aplicadas principalmente a los países desarrollados, los cuales son los más altos contaminantes a nivel mundial.

Como hemos comentado anteriormente el transporte marítimo es uno de los principales contaminantes, debido al gran número de embarcaciones operativas hoy en día. Un buque contamina de muchas maneras, ya sea por el uso de agua de lastre, las incrustaciones marinas, el uso de lubricantes, y un sinnúmero de ellos más, siendo uno de los más destacables la emisión de gases al medio ambiente, producto de los motores de combustión interna.

Estos gases están compuestos por sustancias químicas perjudiciales para el medio ambiente y sobre todo para la salud de las personas, tales como SO_x,

NO_x y CO₂. Por todo ello, la Organización Marítima Internacional ha tomado medidas al respecto, para evitar el uso de combustibles altamente contaminantes. Pero esto no se puede cambiar de la noche a la mañana, aun así, lentamente se ha tomado acción sobre esta situación, con la creación de Zonas ECA (Emission Control Areas).

1.2.4.1 Definición de las zonas de Control de Emisiones (ECA)

Podemos definir como zonas de Control de Emisiones aquellas áreas en las cuales se han establecido controles límites en los buques para minimizar las emisiones transmitidas a través del aire (SO_x, NO_x y partículas) ocasionadas por el transporte marítimo.

Dichas regulaciones, como hemos comentado anteriormente, surgieron de la preocupación sobre la contribución el sector transporte marítimo por la contaminación atmosférica local y global y los problemas ambientales. El establecimiento de áreas de control de emisiones surgió porque la contaminación del aire, y en particular las emisiones de ácidos pueden tener un mayor impacto negativo sobre el medio ambiente en algunas regiones más que en otras, dependiendo de la geografía.

Los buques que operan tanto fuera como dentro de las zonas ECAs consecuentemente operaran con diferentes tipos de combustibles con el objetivo de cumplir los límites de emisión establecidos. Es necesario que se lleve escrito a bordo los procedimientos necesarios para el cambio entre combustibles. El buque deberá haber cambiado completamente el combustible que usará en la zona ECA previamente a entrar a dicha zona. Similarmente, el cambio de combustible que utilizará fuera de una zona ECA no se realizará hasta que el buque haya salido completamente de dicha zona. Se deberá hacer un registro a bordo con las cantidades de combustible de cumplimiento con las zonas ECA, junto la fecha, hora y posición del buque cuando realice el cambio antes de entrar en la zona y una vez se haya salido de esta.

El primer nivel de control de combustibles es en el contenido real del azufre del combustible suministrado al buque, este parámetro lo proporciona el suministrador de combustible en el documento de entrega. El valor del contenido de azufre junto con otros parámetros está directamente ligado con los requisitos del de calidad del combustible que viene regulados bajo la normativa del Anexo VI del MARPOL. En el caso de los combustibles aptos para las zonas ECA, la tripulación del buque tendrá que asegurarse de que dicho combustible no se mezclará con otros de mayor contenido en azufre cuando se almacene y se alimenten los equipos pertinentes.

La siguiente tabla muestra los límites permitidos de emisiones SO_x:

Tabla 3. Niveles de SO_x permitido dentro y fuera de una ECA

Fuente: IMO SO_x, (2018)

Fuera de una ECA establecida para limitas las emisiones de SO _x y de materia particulada	En un ECA establecida para limitar las emisiones de SO _x y de materia particulada
4,5% masa/masa antes del 1 de enero de 2012	1,5% masa/masa antes del 1 de julio de 2010
3,5% masa/masa a partir del 1 de enero de 2012	1% masa/masa a partir del 1 de julio de 2010
0,5% masa/masa a partir del 1 de enero de 2020*	0,1% masa/masa a partir del 1 de enero de 2015

*El MEPC 70 (celebrado en octubre de 2016) examinó una evaluación de la disponibilidad de fueloil para informar de la decisión de que deben adoptar las Partes en el Anexo VI del Convenio MARPOL, y decidió que la norma de fueloil (el límite de 0,50% de contenido de azufre) deberán entrar en vigor el 1 de enero de 2020 (resolución MEPC.280 70)

La siguiente tabla muestra los límites permitidos de emisiones NO_x:

Tabla 4. Niveles de NO_x permitidos.

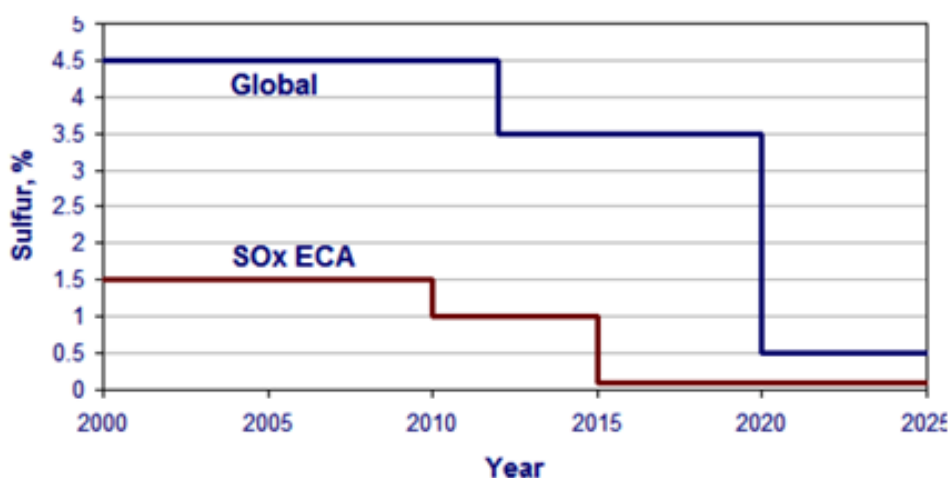
Fuente: IMO NO_x, (2018)

Nivel	Fecha de construcción del buque	Valor límite de emisión ponderada total del ciclo (g/kWh)		
		n = régimen nominal del motor (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 enero 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 enero 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ por ejemplo, 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 enero 2016*	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 2.4	2.0

Los controles de nivel III sólo se aplican a buques específicos mientras navegan en las zonas de control de las emisiones (ECA) establecidas para limitar las emisiones de NO_x; fuera de dichas zonas se aplican controles de nivel II. En conformidad con lo prescrito en la regla 13.5.2, no sería necesario que en determinados buques pequeños se instalen motores de nivel III. Sin embargo, todo motor diésel marino que se instale en un buque construido a partir del 1 de enero de 2016 y que navegue en la ECA de Norteamérica y del mar Caribe de los Estados Unidos deberá cumplir lo dispuesto en las normas de nivel III sobre las emisiones de NO_x.

En estas zonas, y que luego nombraremos, los buques deben utilizar combustibles con un contenido en azufre inferior al límite establecido por el Convenio, o bien utilizar otros sistemas que reduzcan estas emisiones (limpieza de gases de escape, gas natural como combustible,...)

Ilustración 6



Disminución de las emisiones de Óxido de azufre en el primer cuarto del siglo XXI

Fuente: Dávila, L. (2017).

En el gráfico podemos observar los límites de emisiones de azufre permitidos tanto dentro como fuera de las zonas ECAs. Este grafico también muestra la previsiones de emisiones en años futuros donde se reduce notablemente estas emisiones a limites por debajo del 0.5% de azufre, tanto dentro como fuera de la Zona de Control de Emisiones.

1.2.5 DESIGNACIÓN DE LAS ZONAS SECAS

Para la solicitud de un área como una SECA es necesario demostrar la necesidad de prevenir, reducir y controlar las emisiones de SO_x de los buques. En los apéndices III del Anexo VI del MARPOL se establecen los criterios y procedimientos necesarios para la designación de un SECA y que, a modo de resumen, la solicitud incluiría lo siguiente:

- Una definición clara de la zona marítima propuesta
- Descripción de las áreas que se encuentran en peligro
- Evaluación de las emisiones SO_x en el área asignada y su impacto en el medio ambiente y en la salud humana, así como una descripción de las metodologías empleadas

- Las condiciones meteorológicas en la SECA propuesta
- Las expectativas de los patrones de tráfico del transporte marítimo
- Descripción de cualquier control de las emisiones de SO_x en tierra cuando se espera que la SECA entre en vigor

Las ECA establecidas y que podemos observar en la imagen siguiente son:

- *Zona del mar Báltico* – definida en el Anexo I del Convenio MARPOL (solamente para los **SO_x**);
- *Zona del Mar del Norte* – definida en el Anexo V del Convenio MARPOL (solamente para los **SO_x**);
- *Zona de Norteamérica* (que entró en vigor el 1 de agosto de 2012) – definida en el apéndice VII del Anexo VI del Convenio MARPOL (**SO_x**, **NO_x** y **PM**); y
- *Zona del mar Caribe de los Estados Unidos* (que entró en vigor el 1 de enero de 2014) – definida en el Apéndice VII del Anexo VI del Convenio MARPOL (**SO_x**, **NO_x** y **PM**).

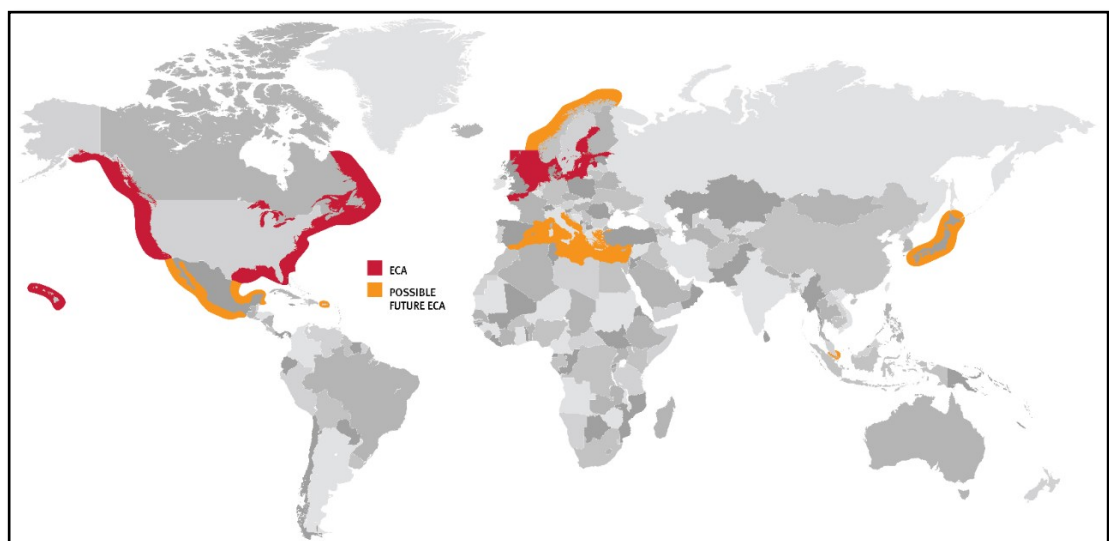


Ilustración 7. Zonas de Control de Emisiones y futuras zonas ECAs

Fuente: Dávila, L., (2017).

Debate implantación de las ECAs:

El principal debate que se plantea con las ECAs está centrado entre los grupos de la industria que manifiestan inquietudes sobre consecuencias negativas a partir de la limitación de 2015 y los que defienden su implantación, así como su ampliación. Los primeros aseguran que la regulación debilita la competitividad, y los otros, como es el caso de European Metalworkers' Federation (EMF), sostienen que las regulaciones son esenciales para la salud humana y el medio ambiente. (Orivet, A. et al , 2012)

Las consecuencias a corto plazo serían principalmente económicas y con un impacto inmediato, que se traducirían en un aumento de los costos marítimos dentro de las ECAs. En cuanto a los beneficios, se puede decir que son numerosos y necesarios, pero más difíciles de cuantificar, y con repercusión a medio y largo plazo. En la siguiente tabla se pueden de manera resumida, los riesgos y beneficios según el costo de implantación de ECAs. (Orivet, A. et al, 2012)

Tabla 5. Riesgos y beneficios de la implantación de las ECAs

Fuente: Orivet, A. et al, (2012)

COSTOS	RIESGOS	BENEFICIOS
Uso de combustibles menos contaminantes	Aumento del precio en el flete	Disminución de la contaminación generada
	Pérdida de competitividad en los puertos	Preservación de la salud humana
	Posible desvío de las rutas de transporte a otros países fuera de las ECAs	Preservación del medio ambiente
	Adecuación costosa a la nueva normativa en las refinerías, los buques y los puertos	Desarrollo industrial eficiente
	Pérdida de competencia en el negocio del bunkering	Estimulación de energías renovables
	Pérdida de puestos de trabajo	Generación de puestos de trabajo
	Modificación de los modos de transporte	Desarrollo naval ecológico
	Incertidumbre política en las ECAs	Competencia equiparada en todos los países

Como conclusión de los puntos destacados anteriormente y obtenidos de la revista marítima *PORTUS*, obtenemos que es necesaria una política para

poder luchar por un sector que se va debilitando progresivamente a pesar del número de trabajadores relacionados con el sector marítimo que aún hay en Europa. Por ello, es fundamental luchar para minimizar la contaminación atmosférica producida por los buques a la vez que se mantiene el objetivo de optimizar la competitividad de la industria marítima. (Orivet, A. et al , 2012)

1.3 LEGISLACIÓN EUROPEA

El Real Decreto 1027/2006, de 15 de septiembre, modificó el citado Real Decreto 62/2006, 31 de enero, en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo, para adaptarlo a la Directiva 2005/33/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de julio de 2005, por la que se modifica la Directiva 1999/32/CE en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. (DOCE, num. 121, 1999)

La aprobación de la Directiva 2012/33/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de noviembre de 2012 ('la Directiva'), supone una nueva modificación de la Directiva 1999/32/CE en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. (BOE num. 93, 2015)

La Directiva contempla medidas destinadas para la reducción de emisiones producidas por la combustión de combustibles con un alto contenido en azufre, los cuales contribuyen a la contaminación del aire en forma de dióxido de azufre y partículas, lo que perjudica notablemente al medio ambiente y sobre todo a la salud humana. Asimismo contempla también medidas destinadas a reducir la contaminación del aire causada por los buques atracados en puerto que es una grave causa de preocupación para muchas ciudades portuarias, en lo que respecta a sus esfuerzos por respetar los límites de calidad del aire establecidos por la Unión Europea.

Para garantizar la coherencia con el Derecho internacional y asegurar la correcta ejecución en la Unión Europea de las nuevas normas sobre el azufre establecidas a nivel internacional, se acordó la modificación de la Directiva

1999/32/CE para alinearse con el anexo VI revisado del Convenio MARPOL. Las principales discrepancias entre ambos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Máximo contenido de azufre establecido en el Anexo VI revisado del Convenio MARPOL frente a la Directiva 1999/32/CE, en su versión vigente antes de la revisión del Anexo VI

Fuente: DOUE num. 132, (2016)

	Estándar OMI	Estándar europeo
SECAs	1% desde 2010	1,50%
	0,1% desde 2015	
no SECAs	3,5% desde 2012	Sin regular
	0,5% desde 2020	

El objetivo, por tanto, es que mediante este real decreto se incorpore al derecho español la Directiva 2012/33/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de noviembre de 2012, por la que se modifica la Directiva 1999/32/CE en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo.

La siguiente tabla muestra las modificaciones sufridas por el Real Decreto 61/2006 (BOE num. 41, 2006).

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

Tabla 7. Modificaciones del Real Decreto 61/2006

Fuente: BOE num. 41 (2006)

DIRECTIVA 2012/33/UE	MODIFICACIÓN REAL DECRETO 61/2006
Apartado 1	Punto ocho. Modificación de la Disposición adicional tercera.
Apartado 2 a)	Puntos uno y dos. Modificación del apartado 3 del artículo 4 y del artículo 4
Apartado 2 b)	Punto cuatro. Modificación del artículo 9
Apartado 2 c)	No requiere transposición
Apartado 3 a)	Punto dos. Modificación del artículo 4. Disposición primera
Apartado 3 b)	No requiere transposición
Apartado 4	Punto cinco. Modificación del artículo 10. Disposición transitoria segunda, apartado 1.
Apartado 5	Punto seis. Modificación del artículo 11
Apartado 6 a)	No requiere transposición
Apartado 6 b)	Punto cinco. Modificación del artículo 10. Disposición transitoria segunda, apartado 1.
Apartado 6 c)	Punto cinco. Modificación del artículo 10. Disposición transitoria segunda, apartado 1.
Apartado 6 d)	Punto cinco. Modificación del artículo 10. Disposición transitoria segunda.
Apartado 7	Puntos cinco, seis, diez y Disposición adicional tercera.
Apartado 8	Disposición final segunda.
Apartado 9	Punto tres. Modificación del artículo 7.
Apartado 10 a)	Punto tres. Modificación del artículo 7.
Apartado 10 b), c) y d)	No requiere transposición
Apartado 11	No requiere transposición
Apartado 12	No requiere transposición
Apartado 13	No requiere transposición
Apartado 14	Punto siete. Nuevo artículo 12.
Apartado 15	Anexos X y XI.

Los objetivos principales por los que se establece esta Directiva se muestran, a modo de resumen, en los siguientes puntos:

- Uno de los principales objetivos de la política medioambiental de la Unión es alcanzar unos niveles de calidad del aire tales que no den lugar a impactos negativos significativos ni a riesgos para la salud humana ni el medio ambiente.
- La contaminación del aire causada por los buques atracados en puerto es una grave causa de preocupación para muchas ciudades portuarias, en lo que respecta a sus esfuerzos por respetar los límites de calidad del aire establecidos por la Unión.
- Los Estados miembros deben fomentar el uso de la red eléctrica en tierra.
- Habida cuenta de la dimensión global de las políticas medioambientales y de las emisiones procedentes de los buques, se

deberán establecer a escala mundial unas normas ambiciosas en materia de emisiones.

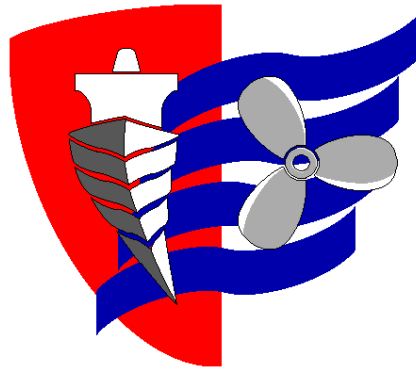
- Los buques de pasaje, debido a que operan principalmente por zonas costeras, causan un impacto ambiental bastante significativo por lo que estarán obligados a utilizar combustibles con un contenido máximo de azufre de 1,5%.
- Los estados miembros podrán establecer medidas más estrictas que la presenta Directiva.
- La Comisión seguirá estudiando las posibilidades para permitir y fomentar la instalación de motores de gas en los buques.
- Para alcanzar los objetivos de la Directiva 1999/32/CE, es preciso que se ejecuten correctamente las obligaciones relativas al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo.
- El cumplimiento de unos límites bajos con respecto al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo podría traducirse con un aumento significativo del precio de los combustibles que podría repercutir en la competitividad del transporte marítimo, por lo que se requieren soluciones adecuadas para reducir los costes de cumplimiento de los sectores afectados.
- La Comisión deberá promover la utilización de métodos de reducción de emisiones ya que pueden lograr importantes reducciones de emisiones.
- Es importante establecer unas sanciones efectivas, proporcionadas y disuasorias para la aplicación de la Directiva 1999/32/CE.
- A fin de garantizar condiciones uniformes de ejecución de la Directiva 1999/32/CE, deben conferirse a la Comisión competencias de ejecución. Dichas competencias deben ejercerse de conformidad con el Reglamento (UE) nº 182/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de febrero de 2011, por el que se establecen las normas y los principios generales relativos a las modalidades de control por

parte de los Estados miembros del ejercicio de las competencias de ejecución por la Comisión.

- Conviene que el Comité de seguridad marítima y prevención de la contaminación por los buques establecido por el Reglamento (CE) nº 2099/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de noviembre de 2002, por el que se crea el Comité de seguridad marítima y prevención de la contaminación por los buques (COSS) asista a la Comisión en la aprobación de los métodos de reducción de emisiones que no están regulados por la Directiva 96/998/CE del Consejo, de 20 de diciembre de 1996, sobre equipos marinos.

(DOUE num. 132, 2016)

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



METODOLOGÍA

2 METODOLOGÍA

Para la realización de esta parte del proyecto, además del buscador google, he utilizado las bases de datos de la biblioteca de la universidad de Cantabria. Para ello, se deben realizar los siguientes pasos:

1. En primer lugar, entraremos en la página web de la Universidad de Cantabria. <http://web.unican.es/>
2. En la pestaña 'servicios', iremos al apartado servicios comunes y pincharemos en biblioteca de la universidad.
3. Una vez que estamos dentro de la biblioteca, debemos pinchar en base de datos. Ahí se nos presentaran numerosas bases de datos.

Nosotros nos centraremos principalmente en dos, Web of Science y Scopus.

- **Scopus** es una gran base de datos bibliográfica de literatura científica, multidisciplinar e internacional, con análisis de citas desde 1996. Contiene unos 66 millones de referencias de documentos publicados, en algunos casos, desde el siglo XIX, en 23.000 revistas científicas, que incluyen 4.500 títulos en acceso abierto, 400 revistas comerciales y 560 series monográficas, 4.300 revistas de ciencias de la vida, 6.800 de ciencias de la salud, 7.200 de ciencias físicas, 5.300 de ciencias sociales y humanidades, así como congresos y conferencias, con 7,7 millones de conference papers en total. Cubre todas las ramas de conocimiento, incorporando de forma completa los archivos Medline y Compendex, y ofrece enlaces a los textos completos de los documentos. (Elsevier, 1996)

Scopus facilita información completa de citas desde 1996, realizando informes de citas para agregados de referencias, por años, en forma de tablas; calcula el índice h; permite búsquedas por organismo de afiliación; análisis bibliométrico comparativo de revistas, etc. El usuario puede encargar alertas informativas, para recibir la información de su interés periódicamente sobre un tema o sobre citas, mediante e-mail o

RSS. Y puede exportar referencias a RefWorks u otros gestores bibliográficos.

Scopus ofrece en cada búsqueda resultados añadidos sobre patentes de varias importantes oficinas nacionales, a través del servicio Lexis Nexis, pulsando un enlace adicional.

- **Web of Science** permite hacer búsquedas bibliográficas simultáneas (“Alldatabases”) en la Core Collection, Medline, etc. o rastreos más especializados en cada una de ellas. Además de una completa información bibliográfica facilita análisis, informes y mapas sobre citas de los artículos, autores y grupos de referencias. Dispone de diversas herramientas para rastrear el contenido de las bases de datos: índices, consulta booleana, enlaces a texto completo, exportación de resultados, alertas y servicios personalizados, listas individuales de revistas, sistema de identificación de investigadores (ResearcherID), etc. (Clarivate Analytics, 2018)

Web of Science Core Collection recoge referencias de unas 10.000 revistas y publicaciones especializadas en todas las disciplinas desde hace varias décadas en varias bases de datos: principalmente: Science Citation Index Expanded (desde 1900), Social Science Citation Index (desde 1956), Art & Humanities Citation Index (desde 1975), Conference Proceedings Citation Index (Science y Social Science & Humanities desde 1990), Emerging Sources Citation Index (desde 2015), Current Chemical Reactions (desde 1986) e Index Chemicus (desde 1993). En conjunto se trata de una fuente de información selectiva, centrada en la ciencia en sentido estricto publicada en revistas y congresos, de ámbito internacional y en idioma inglés. (Clarivate Analytics, 2018)

países, científicos destacados, etc. en los últimos diez años. Pulse en la parte superior de la pantalla.

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

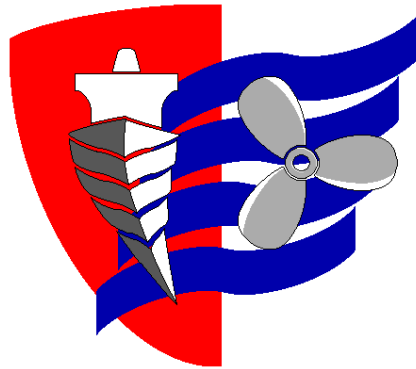
Para el uso de ambas bases de datos, en nuestro caso es necesario, en primer lugar, ser miembro de la Universidad de Cantabria y en segundo lugar, estar en la Red de la UC, o bien, mediante acceso remoto habiendo antes sido identificado como miembro de la UC con las credenciales personales.

Después de conocer un poco lo que nos ofrece cada base de datos, nos centraremos en nuestro tema.

En 'Web of Science', hemos utilizado como palabras clave 'NO_x, SO_x, ship' y hemos obtenido un total de 92 resultados. Para reducir la búsqueda hemos puesto como filtro, el año de publicación, utilizando aquellos artículos que han sido publicados en los últimos 4 años, de los cuales 25 son de acceso abierto y serán, por tanto, en los que nos centraremos.

Por otro lado, en Scopus, utilizando las palabras clave 'NO_x, SO_x, reduction emission ship' hemos obtenido 76 resultados que, al igual que en el anterior, poniendo como filtro aquellos artículos que se hayan publicado en los últimos 3 años, obtenemos un total de 12 documentos.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



DESARROLLO

3 DESARROLLO

La calidad del aire que nos rodea está determinada principalmente por la distribución geográfica de las fuentes de emisión contaminante, así como de las cantidades emitidas por estos contaminantes. (Díaz, J. y Linares, G., 2010).

Los principales condicionantes de la propagación y el transporte de los contaminantes vienen determinados en función de la meteorología, la orografía y los procesos físico-químicos que tienen lugar en la atmósfera. Dentro de esta dinámica atmosférica, los aportes son producidos por emisiones primarias, bien desde fuentes naturales, lo que incluye fenómenos naturales tales como actividades sísmicas, erupciones volcánicas, actividades geotérmicas, incendios, aerosoles marinos o resuspensión atmosférica o transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas o bien desde fuentes antropogénicas, es decir, derivadas de la actividad humana.

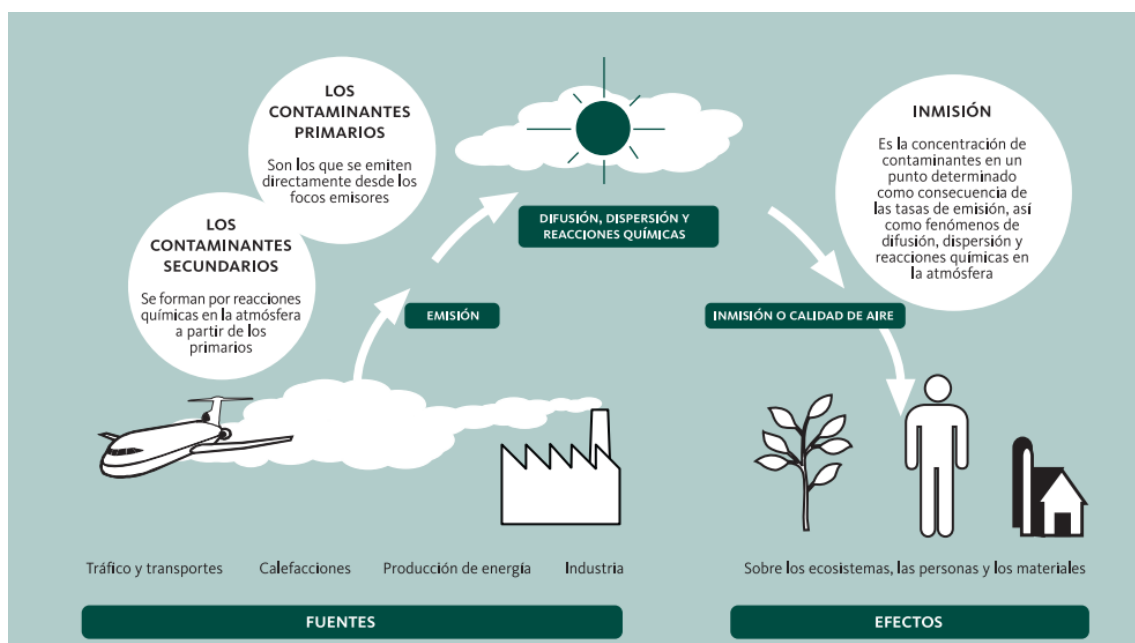


Ilustración 8. Fuentes, tipos de contaminantes, procesos y efectos generales en contaminación atmosférica.

Fuente: Ecodes (2010)

Podemos clasificar los contaminantes en dos grandes grupos:

- **Contaminantes primarios:** aquellos que se emiten directamente desde los focos emisores como pueden ser los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno. Estos dos serán los que desarrollaremos a lo largo del trabajo.
- **Contaminantes secundarios:** se forman en la atmosfera mediante reacciones químicas de otros contaminantes que proceden, en su mayor parte, de fuentes antropogénicas: ozono, sulfatos, nitratos, etcétera.

La producción de los óxidos de azufre y de los óxidos de nitrógeno está asociado principalmente a la actividad humana. Los SO_x y NO_x son emitidos por fuentes fijas mayores que usan combustibles fósiles. Los niveles de estos dos óxidos varían con la mezcla de dichos combustibles; según un estudio realizado por la Universidad Católica de Chile, las emisiones totales mundiales en el mundo rondan las 63 Tg N/año en cuanto a las emisiones de SO_x y 22 Tg N/año en cuanto a las de NO_x. (UCChile, 2018)

Los óxidos de azufre se producen principalmente durante la combustión del carbón y de algunos derivados del petróleo, por lo que se asocia principalmente al transporte y a las actividades industriales.

Los óxidos de azufre también son emitidos a gran escala por las fuentes móviles que utilizan algunos derivados del petróleo. Existe un inventario de emisiones globales en el cual se pueden diferenciar los hemisferios, los continentes y los grandes países. Allí se realizan estimaciones que sugieren, por ejemplo, que las emisiones de NO_x producidas por el transporte marítimo pueden ser relevantes. El 5% de las emisiones producidas por este tipo de óxidos hace referencia a eventos naturales como pueden ser las tormentas eléctricas. (UCChile, 2018)

Por otro lado, la emisión de NO desde el suelo es relevante y ocurre sobre todo durante la primavera y el verano, en aquellas regiones agrícolas donde el uso de fertilizantes nitrogenadas es masivo. Por esta relación con la

fertilización de los campos, se supone que las emisiones de NO del suelo son de origen antropogénico. Es por todo ello por lo que hay dudas e incertidumbres sobre el NO del suelo, igual que con respecto a la influencia de relámpagos y rayos.

El N₂O es producido globalmente por las siguientes fuentes y se cuenta con estimaciones anuales tentativas a nivel mundial: suelos naturales, suelos cultivados, quema de biomasa, quema de combustibles fósiles, tratamiento de aguas servidas, océanos, cambios de uso del suelo, industrias, fuentes móviles, acuíferos, basura, desechos animales y otros de menos importancia. (Mendoza, Y., 2018)

Ahora que ya sabemos la procedencia de los NO_x y los SO_x, en lo que queda de trabajo desarrollaremos las emisiones de NO_x y SO_x y su procedencia respecto al sector marítimo, así como sus efectos y los métodos utilizados para la reducción de dichas emisiones.

Ecologistas en acción realizó un estudio sobre la calidad del aire durante todo el 2016 en diferentes puntos de España, si hablamos en particular de nuestra tierra, Cantabria, se recopilaron los datos de 11 estaciones de control de la contaminación, pertenecientes a la red del Gobierno de Cantabria.

En la región de Cantabria, los contaminantes que más incidencia han tenido durante el año 2016 fueron las partículas PM₁₀, y secundariamente los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). García, B., (2017)

En la Bahía de Santander y la comarca de Torrelavega, se sobrepasaron los valores medio anuales recomendados por la Organización Mundial de la Salud (a partir de ahora la OMS) para las partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente, siendo para este último contaminante muy escasas las mediciones en Cantabria, en cobertura territorial y temporal. García, B., (2017)

Los datos de partículas correspondientes al año 2016 mantienen la tendencia general de mejoría con respecto a la de años anteriores, justificada en gran medida en la caída de la producción industrial y el menor tráfico de vehículos.

El ozono troposférico registró los niveles más bajos de todo el territorio español, afectando sobre todo a las zonas del interior de Cantabria, aunque las dos estaciones representativas de este territorio, Reinosa y Los Tojos, no llegaron a alcanzar las 25 superaciones del valor octohorario recomendado por la OMS. Como es habitual en Cantabria, ninguna de las estaciones de dicho territorio ha superado el objetivo legal para la protección de la salud en el trienio 2014-2016, ni los umbrales de información y alerta a la población, ni los objetivos a largo plazo para la protección de la salud y de la vegetación en 2016, año en el cual se han reducido significativamente los niveles de este contaminante secundario, y así lo publica García, B., (2017) en un artículo sobre la calidad del aire en la región de Cantabria .

En todo caso, conviene señalar que debido a las características climáticas de esta región (inestabilidad frecuente, altas precipitaciones y baja radiación solar) la formación de ozono es moderada. Evitando que se alcancen las elevadas concentraciones que tiene lugar en otros territorios el Estado.

El dióxido de azufre que ha afectado tradicionalmente a la comarca de Torrelavega como consecuencia de la elevada actividad industrial que tiene lugar en su interior, principal fuente emisora de este contaminante, se ha visto reducida notablemente debido a la menor actividad de la industria en general y en particular como consecuencia del cierre en 2015 de Sniace. Este es también motivo de la drástica reducción hasta la práctica desaparición del sulfuro de hidrógeno (H₂S) y el disulfuro de carbono (CS₂) en la comarca de Torrelavega. (García, B., 2017)

Las mediciones de benceno en la estación del centro de Santander no han rebasado en 2016 la recomendación de la OMS para este peligroso contaminante cancerígeno. (García, B., 2017)

El cuadro general que presenta Cantabria es el de dos zonas que han superado los niveles de contaminación recomendados por la OMS: por un lado, la comarca de Torrelavega, a causa de la elevada actividad industrial que alberga, y por otro la Bahía de Santander, caracterizada por un intenso tráfico rodado y marítimo. La contaminación emitida desde ambas zonas se

extiende además por el resto del territorio en la forma del ozono troposférico, afectando especialmente al interior de Cantabria, aunque en niveles generalmente moderados. Como consecuencia, 313.000 cántabros (el 54% de la población) respiramos un aire perjudicial para la salud según las recomendaciones de la OMS.

En la tabla 8 se especifican los valores obtenidos por las diferentes estaciones en Cantabria durante el año 2016. Para la obtención de los valores de dicho estudio, realizado por un grupo de 19 personas de diferentes partes del territorio español pertenecientes a Ecologistas en Acción, se ha contado con la ayuda de las diferentes administraciones autonómicas y locales de cada territorio.

3.1 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Los óxidos de nitrógeno engloban a un conjunto de emisiones de óxido nítrico (NO), dióxido nítrico (NO₂) y restos de otros que han sido generados durante la combustión. El término NO_x se refiere a la combinación de estas sustancias. La combustión de cualquier combustible fósil produce un determinado nivel de NO_x, que dependerá de la temperatura y de la presencia de oxígeno y nitrógeno, tanto en el aire como en el combustible.

Las emisiones de NO_x producidas durante la combustión están formadas por alrededor de un 90-95 % de NO y el resto por NO₂. (Prieto, I., 2018)

Cuando los gases de escape abandonan la chimenea una parte del NO se oxida en la atmosfera transformándose en NO₂. Este NO₂ al reaccionar con la luz solar y con radicales de hidrocarburos puede llegar a producir smog fotoquímico (ozono troposférico O₃) y lluvia ácida. Hay dos mecanismos de formación de emisiones NO_x, el térmico y el de combustible.

Tabla 8. Calidad del aire en Cantabria durante el 2016.

Fuente: (García, B, 2017)

Cantabria

ZONAS / AGLOMERACIONES	Superf. (km2)	POBLACIÓN	ESTACIONES	PM10 (partículas menores de 10 micras)		PM2,5 (partículas menores de 2,5 micras)		NO2 (dióxido de nitrógeno)	O3 (ozono troposférico)			SO2 (dióxido de azufre)
				Valor diario	Media anual	Valor diario (OMS)	Media anual	Media anual	Octohorario (Normativa)	Octohorario (OMS)	AOT40 (Normativa)	Valor diario (OMS)
				Nº días > 50 µg/m3 Normativa: máx=35 OMS: máx=3	µg/m3 Normativa: máx=40 OMS: máx=20	Nº días > 25 µg/m3 OMS: máx=3	µg/m3 Normat: máx=20 OMS: máx=10	µg/m3 Normat. y OMS: máx=40	Nº días > 120 µg/m3 Normativa: máx=25	Nº días > 100 µg/m3 OMS: máx=25	Normativa: máx=18.000 µg/m3h	Nº días > 20 µg/m3 OMS: máx=3
BAHÍA DE SANTANDER	108	226.575	GUARNIZO	3	22			18	1	1	2341	0
			CAMARGO (CROS)	7	23			18	1	2	2794	0
			SANTANDER CENTRO	0	19			31				0
			SANTANDER (TETUÁN)	0	18	1	9	15	3	7	5614	0
			MEDIA	3	21	1	9	21	2	3	3873	0
COMARCA DE TORRELAVEGA	186	86.048	BARREDA	6	24	3	11	27				0
			ESCUELA DE MINAS	0	15			20				1
			LOS CORRALES DE BUELNA	0	20			17	0	5	3817	0
			PARQUE ZAPATÓN	0	18			17	1	4	3884	0
			MEDIA	2	19	3	11	20	1	5	3851	0
CANTABRIA ZONA LITORAL	1.468	215.288	CASTRO URDALES	0	15	1	8	16	2	5	5491	0
CANTABRIA ZONA INTERIOR	3.498	54.295	REINOSA	1	11	0	8	13	6	13	9321	0
			LOS TOJOS	0	10			2	5	19	8524	0
			MEDIA	1	11	0	8	8	6	16	8923	0

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

El NO_x térmico se forma a altas temperaturas por la oxidación del nitrógeno que se encuentra en el aire comburente. Su velocidad de formación dependerá de la temperatura y del tiempo de permanencia en la misma. A temperaturas superiores a 1300°C se forman cantidades significativas de NO_x, que aumentan, de forma exponencial a medida que aumenta la temperatura. (Fernández Diez, P., 2018)

La formación de NO_x térmica se regula reduciendo la temperatura de la llama de combustión.

3.1.1 EFECTOS SOBRE LA SALUD

El óxido de nitrógeno es una sustancia corrosiva para la piel y el tracto respiratorio, provocando enrojecimiento y quemaduras graves en contacto con la piel.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la inhalación de este gas en concentraciones elevadas y durante un corto periodo de tiempo puede causar un edema pulmonar cuyos efectos no se observan hasta pasadas unas horas, agravándose con el esfuerzo físico. Una exposición prolongada puede afectar al sistema inmunológico y a los pulmones, dando lugar a una menor resistencia frente a infecciones y causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar.

3.1.2 EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

En lo que refiere a los impactos producidos por este gas en el medio ambiente, se trata de una sustancia que tiene una gran transcendencia en la formación del smog fotoquímico (contaminación del aire por ozono originado principalmente por reacciones fotoquímicas y otros compuestos), ya que al combinarse con otros contaminantes atmosféricos (por ejemplo los COVDM) influye en las reacciones de formación de ozono en la superficie de la tierra.

Por otro lado, el NO₂ se origina a partir de la oxidación del óxido nítrico, y tiene una vida corta en la atmósfera ya que se oxida rápidamente a nitratos (NO₃-) o a ácido nítrico (HNO₃). En este último caso, se produce el fenómeno de la

lluvia ácida, la cual consiste en la reacción de los nitratos (NO₃) con la humedad existente en el ambiente, dando lugar a ácido nítrico (HNO₃), precipita causando grandes destrozos en los bosques y la acidificación de las aguas superficiales. (PRTR NO_x, 2007)

3.2 ÓXIDOS DE AZUFRE

Los óxidos de azufre son un grupo de gases formados por trióxido de azufre (SO₃) y dióxido de azufre (SO₂). El más común es el SO₂, ya que el SO₃ es solo un intermediario en la formación del ácido sulfúrico (H₂SO₄).

La formación de los óxidos de azufre de los gases de escape tiene lugar debido a la oxidación del azufre en el combustible durante el proceso de la combustión.

El monóxido de azufre (SO) reacciona con el oxígeno dando lugar al dióxido de azufre (SO₂) a altas temperaturas. La cantidad de estas emisiones dependerá de la cantidad de azufre presente en el combustible y no puede ser controlada por el proceso de combustión.

Por lo general, la cantidad de SO₃ es de aproximadamente del 5% de la cantidad de óxidos de azufre (SO₂ y SO₃). Por ejemplo, si el combustible tiene un 4% de concentración de azufre, el volumen de SO_x generado será de alrededor de 85 Kg por tonelada de combustible quemado; si se utiliza combustible con contenido de azufre del 1%, la cantidad de emisiones de SO_x es de unos 21 kg por tonelada de combustible quemado. (Medina Mosegues, O.A., 2016)

Los SO_x formados a partir de los gases de escape producidos por los motores diésel son corrosivos y se neutralizan en parte por el aceite de lubricación del motor.

Como conclusión de lo anteriormente dicho podemos decir que los óxidos de azufre más importantes, en lo que concierne a la contaminación, son el dióxido de azufre, SO₂ y el trióxido de azufre, SO₃. La emisión del dióxido de azufre

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

es bastante superior a la del trióxido, siendo la proporción de estos 5% y 1%, respectivamente. (PRTR SO_x, 2007)

3.2.1 EFECTOS SOBRE LA SALUD

El dióxido de azufre es un gas irritante y tóxico, afecta sobre todo a las mucosidades y a los pulmones provocando ataques de tos cuando se produce su inhalación. La exposición de altas concentraciones durante periodos cortos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causando bronquitis, reacciones asmáticas, espasmos, paradas respiratorias y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos.

El líquido se evapora rápidamente lo que puede ocasionar congelación en contacto con la piel. (PRTR SO_x, 2007)

3.2.2 EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

En lo que refiere a los efectos del SO_x sobre el medio ambiente empeoran cuando el dióxido de azufre se combina con partículas o con la humedad del aire ya que se forma ácido sulfúrico, produciéndose lo que se conoce como lluvia ácida, provocando la destrucción de bosques, vida salvaje y la acidificación de las aguas superficiales. (PRTR SO_x, 2007)

En lo que se refiere a los métodos de reducción de NO_x y SO_x, ante la legislación impuesta por la Organización Marítima Internacional, los armadores se han visto obligados a cumplir con la normativa para poder seguir realizando las operaciones que llevaban a cabo mediante la navegación de los buques mercantes.

A continuación, y durante el presente trabajo se exponen algunos de los principales métodos para reducir la contaminación debido a la emisión de ciertos gases. Existen zonas de navegación en las que las emisiones son más estrictas y por lo tanto las emisiones deberán ser aun menores (zonas ECAs y zonas SECAs).

Para hablar de los métodos de reducción de las emisiones procedentes de los motores, vamos a clasificarlos en dos grupos, por un lado, las soluciones

primarias y por otro lado, las soluciones secundarias. Ambas tienen un objetivo común que es contener las emisiones de los motores de combustión dentro de unos límites.

- Soluciones primarias: se actúa directamente sobre el proceso de combustión del motor evitando la formación de las sustancias contaminantes.
- Soluciones secundarias: en esta se actúa sobre la sustancia ya creada por la combustión, por lo tanto, se actúa sobre los gases de escape para tratar de eliminarlas y evitar la dispersión.

En el presente trabajo identificaremos las soluciones primarias como tecnologías de pre-tratamiento y las soluciones secundarias como tecnologías de post-tratamiento.

Se debe tener presente que una variación de más o menos de 10 °C puede causar una reducción en la eficiencia térmica de entre un 37% a un 40%, lo que supone un 7,5% de aumento en los costos del petróleo. Garcia, R., (2018)

3.3 SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES NOX

Como hemos comentado anteriormente las medidas para reducir las emisiones NO_x pueden ser primarias o secundarias. Las medidas primarias, o métodos pre-tratamiento, son aquellas que se enfocan en aumentar la eficiencia térmica, o disminuir las variables que afectan la formación de NO_x. Esta última medida se basa principalmente en producir gran parte de la energía del lado de la alimentación del horno justo en el punto donde se requiere, evitando quemar más del combustible necesario en la cámara de combustión del horno. (Hoyos Barreto, A.E., et al, 2008)

A continuación, se muestran las principales medidas primarias (métodos pre-tratamiento) para reducir las emisiones de NO_x:

3.3.1 MÉTODOS PRE-TRATAMIENTO

Como medidas primarias podemos destacar las siguientes: recirculación de gases, inyección directa de agua en la cámara de combustión, emulsión de agua en el combustible, inyección de agua en el aire de admisión y combustión con bajo contenido en aire. Decir que existen más métodos pre-tratamiento para la reducción de emisiones, pero estas anteriormente nombradas y que a continuación desarrollaremos, son las que he considerado más importantes.

- **Inyección directa de agua en la cámara de combustión:** La inyección de agua en la cámara de combustión es un método eficaz para reducir las emisiones de NO_x. Los niveles de óxidos de nitrógeno se reducen en un 50% a costa de un pequeño aumento del consumo (2%) cuando la emulsión es del 70%, bajan a 6g/kWh.

La técnica de inyección directa de agua en la cámara de combustión consiste en una inyección de agua previa a la de combustible de manera que la zona de combustión se enfría sin interferencia de los chorros de combustible y agua. (García, R., 2018)

- **Recirculación de gases:** Consiste en dirigir una parte de los gases de escape desde la entrada del precalentador de aire hasta el colector de aire a inyectar en la caldera, con lo que se reduce la temperatura en la caldera. Este sistema tiene como finalidad reducir el nivel de oxígeno disponible en la zona de combustión, el cual implica a su vez un enfriamiento, que produce un descenso de la temperatura de la llama, de esta forma se reduce la formación de NO.

El sistema es complicado de instalar, puede generar inestabilidad en la llama y, además, sólo se puede alcanzar una reducción del 20% de óxidos de nitrógeno. (Praest, J. y Béjar, I., 2015)

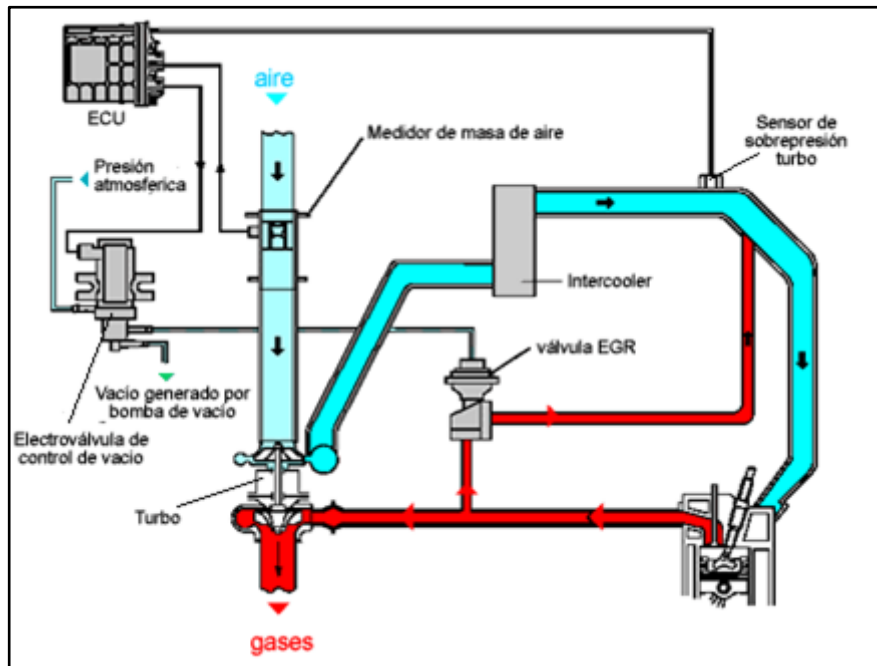


Ilustración 9. Esquema de un sistema EGR

Fuente: Garcia, R., (2018)

- **Emulsión de agua en el combustible:** La emulsión de agua en combustible da lugar a un fenómeno denominado micro-explosión, que sucede cuando las partículas de agua se vaporizan instantáneamente dentro de la mezcla con el combustible, porque es expuesto a un aumento de la temperatura en el cilindro durante la inyección. Esto ocurre cuando la temperatura de las partículas de combustible aumenta por encima del punto de ebullición del agua. El agua se evapora de forma rápida y violenta, lo que desencadena una rotura de las gotas de combustible en micro-partículas, que da como resultado una vaporización más completa y favorece la turbulencia del combustible. Como se ha mejorado la atomización del combustible, se dará lugar a una combustión más efectiva. (Garcia, R., 2018)

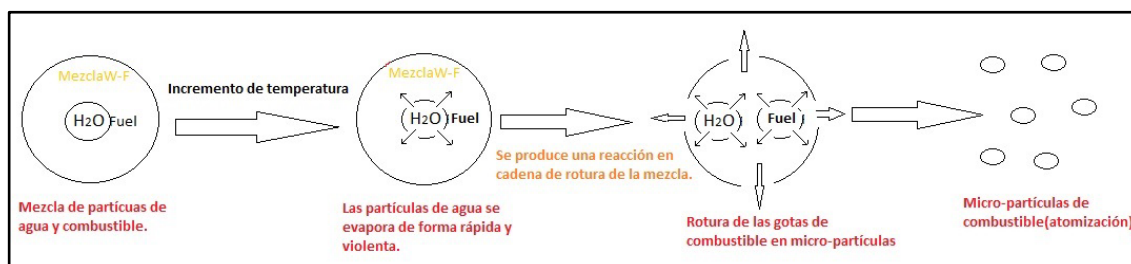


Ilustración 10. Comportamiento de la emulsión de agua en combustible al ser inyectado en el cilindro

Fuente: Garcia, R., (2018).

- **Inyección de agua en el aire de admisión:** el enfriamiento del aire de admisión es importante a la hora de reducir emisiones de NO_x, todo lo que conduce a bajar la temperatura de la llama contribuye a reducir las emisiones de NO_x. Un sistema para reducir la temperatura de combustión es enfriar los gases de admisión del motor. Con el sistema HAM, la carga del turbocompresor de aire está saturada de vapor de agua, antes de que entre los canales de aire de sobre-alimentación y las cámaras de combustión del motor. Como resultado, los picos de temperatura en el proceso de combustión se reducen, y la formación de NO_x también. (Garcia, R., 2018).

El ejemplo más relevante fue la adaptación del sistema HAM al barco pesquero “KVANNØY”, dicha modificación fue realizada por MAN Diesel & Turbo en PrimeServ Frederikshavn, Dinamarca. El motor principal donde se llevó a cabo la instalación era un MAN 16V28/32^a nominal 3.920 kW a 775r/min. Los resultados del ensayo, medido de acuerdo con lo expuesto en el Convenio MARPOL marcaron una producción de tan solo 3.6 G/kWh de NO_x, es decir, una reducción de un 61.3% si las comparamos con las emisiones del motor principal cuando contaba con los enfriadores del aire de sobre-alimentación originales. (FIS, 2010)

El sistema HAM sirvió a este pesquero para reducir en 50 toneladas anuales las emisiones de NO_x. Los beneficios económicos supusieron

un ahorro de 100.000 € anuales debido a la reducción de impuestos de NO_x para la operación en aguas noruegas. El tiempo de amortización calculada para la adaptación del HAM es de aproximadamente 3 años. (Margaret E.L., 2010)

- **Combustión con bajo contenido en aire:** La combustión con bajo exceso de aire es una medida operativa simple y fácil de implantar reduciendo la cantidad de oxígeno disponible en la zona de combustión al mínimo necesario, para que la combustión sea completa. Con ello se pueden conseguir importantes reducciones en la formación de emisiones NO. Se pueden llegar a lograr índices de reducción entorno al 10-45% con esta medida. Como ventajas de este sistema, podemos mencionar que no se requiere un consumo adicional de energía, y si se opera correctamente, tampoco se detecta una disminución en la fiabilidad de funcionamiento de la instalación de combustión. (Prieto, I., 2018)

A continuación, se muestra una tabla que he realizado con las principales ventajas y desventajas sobre los principales métodos pre-tratamiento para la reducción de emisiones NO_x:

Tabla 9: Características de los principales métodos pre-tratamiento para la reducción de emisiones NO_x

Fuente: propia

MÉTODO	ELIMINACION	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Recirculación de gases	20-50%	<ul style="list-style-type: none"> -Uso con todos los combustibles -Económico 	<ul style="list-style-type: none"> -↓ el rendimiento del motor - ↑ el consumo - produce mucho hollín
Inyección directa de agua en la cámara de combustión	50-60%	<ul style="list-style-type: none"> -Bajo coste -Volumen de espacio mínimo - el motor puede funcionar con o sin agua 	
Emulsión de agua en el combustible	30%	<ul style="list-style-type: none"> -Incrementa eficiencia del motor -Reduce otros contaminantes -Reduce el desgaste del motor e impide la acumulación de carbón 	
Inyección de agua en el aire de admisión	40%	<ul style="list-style-type: none"> -Alta eficiencia -Bajos costes de operación. - ↓ consumo de combustible. -Buen rendimiento del motor -Poco mantenimiento 	
Combustión con bajo contenido en aire	10-44%	<ul style="list-style-type: none"> -Es efectiva -Coste no elevado 	<ul style="list-style-type: none"> -Combustión incompleta -Emite hollín, CO₂ e hidrocarburos

La reducción de NO_x, alcanzada mediante los sistemas anteriormente nombrados no sobrepasa el 50-60% de manera que no siempre se cumplen las legislaciones existentes. Además, el efecto de las medidas primarias depende en gran medida de la capacidad y diseño de la instalación y de las características del combustible, por tanto, no se puede generalizar a cualquier instalación, siendo su implantación muy específica.

Otras de las medidas que podremos utilizar para la reducción de este tipo de emisiones acompañando a otros métodos primarios, pueden ser:

- **Combustión escalonada:** con esto conseguiremos una reducción de emisiones de NO_x de alrededor del 50-60%
- **Quemadores con bajo contenido en NO_x con inyección escalonada del aire:** reduciremos las emisiones alrededor de un 25-35%
- **Quemadores de bajo contenido en NO_x con recirculación de humos:** con este sistema reduciremos las emisiones menos de un 20%
- **Quemadores de bajo contenido en NO_x con combustión escalonada:** con este sistema conseguiremos una reducción del 50-60%

3.3.2 MÉTODOS POST-TRATAMIENTO

A continuación, se desarrollará en profundidad los principales métodos secundarios (o métodos post-tratamiento) para la reducción de emisiones NO_x: la reducción selectiva no catalítica (a partir de ahora SNCR) y la reducción selectiva catalítica (a partir de ahora SCR).

3.3.2.1 Reducción selectiva no catalítica (SNCR)

La SNCR consiste en la reducción química de la molécula de NO_x a nitrógeno molecular (N₂) y vapor de agua (H₂O). Un agente reactor (reactivo), a base de nitrógeno, tal como el amoníaco o la urea, es inyectado en el gas después de la combustión. Se favorece la reacción de reducción con NO_x sobre otras

reacciones químicas, a temperaturas que varían entre los 870 y 1150 °C, por lo tanto, es considerado un proceso químico selectivo. (EPA SNCR, 2018).

Los sistemas de base de urea tienen ventajas frente a los sistemas de base de amoníaco ya que la urea no es tóxica, es un líquido menos volátil y puede ser almacenado y manejado con mayor seguridad.

En el proceso de la SNCR, la unidad de combustión actúa como una cámara de reacción. El reactivo es generalmente inyectado dentro de las regiones radiantes y convectivas del supercalentador y del recalentador, donde la temperatura del gas de combustión está dentro del rango requerido. El sistema de inyección está diseñado para promover el mezclado del reactivo con el gas de combustión. (Fernández Diez, P. 2018)

La imagen siguiente muestra un sistema de tecnología híbrida SCR/SNCR.

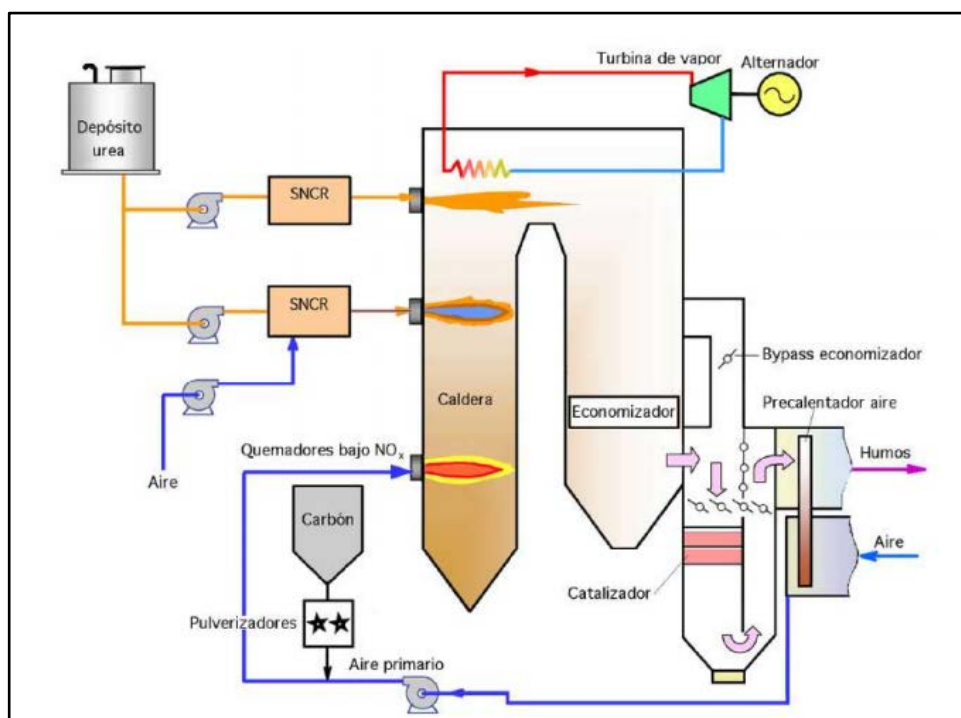


Ilustración 11. Tecnología híbrida SCR/SNCR

Fuente: Fernandez Diez, P., (2018)

A continuación, se muestran las ventajas y desventajas de un sistema de reducción catalítica no selectiva frente al SCR:

Ventajas:

- Los costos de capital y de operación están entre los más bajos entre todos los métodos de reducción de NOX.
- La reconversión de la SNCR es relativamente simple y requiere poco tiempo de paro en unidades grandes y medianas.
- Es efectivo en costo para uso estacional o aplicaciones de carga variable.
- Acepta corrientes de gas residual con niveles altos de MP.
- Puede aplicarse con controles de combustión para proporcionar mayores reducciones de NOX.

Desventajas:

- La corriente de gas debe estar dentro de un rango de temperatura específico.
- No es aplicable a fuentes con bajas concentraciones de NOX tales como las turbinas de gas.
- Menores reducciones de NOX que con la Reducción Selectiva Catalítica (SCR).
- Puede requerir limpieza del equipo corriente abajo.

3.3.2.2 Reducción catalítica selectiva (SCR)

La Reducción Selectiva Catalítica consiste en una carcasa montada en el embudo del tubo de escape que contiene un catalizador. Un agente reductor es inyectado dentro de la carcasa provocando que la molécula de NO_x contenido en los gases de escape sea químicamente reducido a nitrógeno molecular (N₂) y vapor de agua (H₂O). Los agentes reductores más comunes suelen ser el amoníaco (NH₃) y la urea ((NH₂)₂CO). (EPA SCR, 2018)

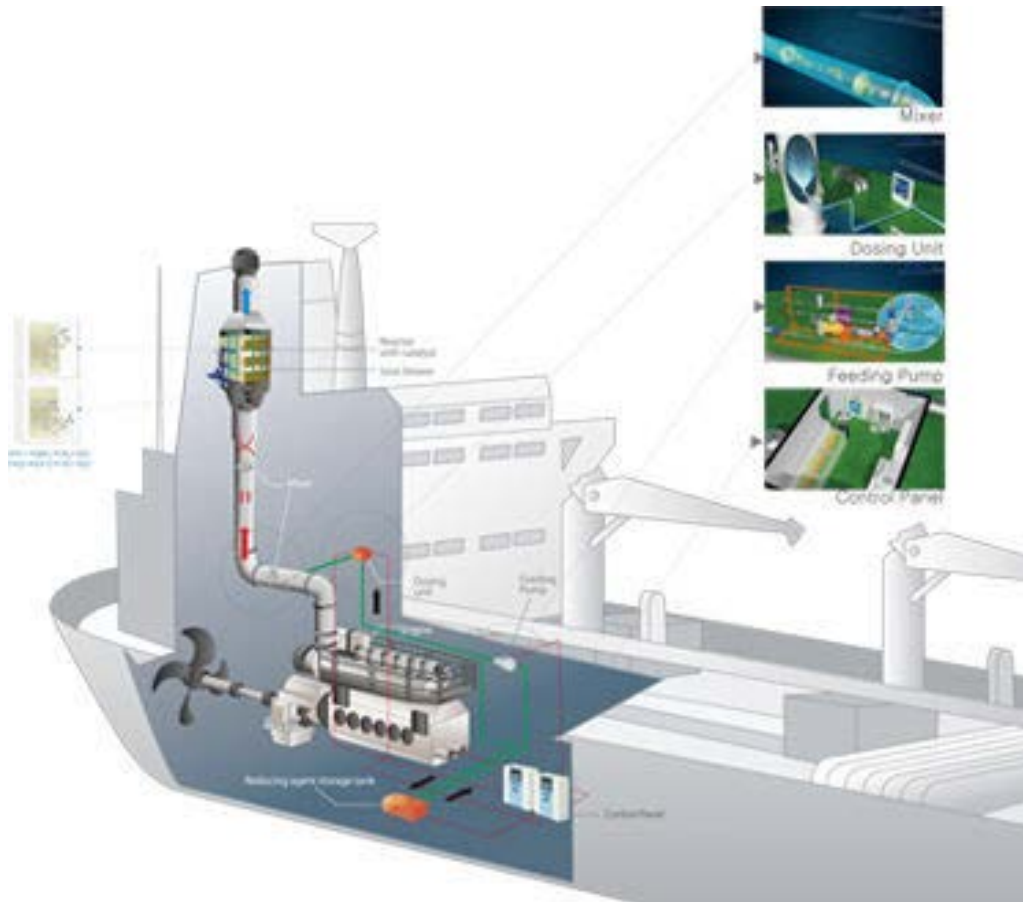


Ilustración 12. Sistema de Reducción Selectiva Catalítica en buque

Fuente: Nautic Expo, (2018)

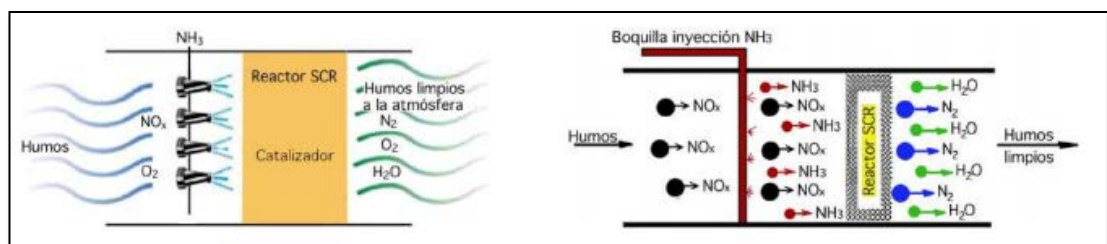


Ilustración 13. Sistema de funcionamiento de la técnica SCR

Fuente: Fernández Díez, P., (2018)

El propio catalizador no se consume, pero puede estar recubierto por otras impurezas y por lo tanto pierde la eficiencia. Tales problemas son más

probables que ocurran cuando se usa como combustible HFO, que con MDO. Además del reactor catalítico como elemento principal, el sistema SCR está compuesto por un tanque de almacenamiento para el reductor y un sistema de bombeo y control para la inyección del reductor. El reactor SCR también actúa como un silenciador y reemplaza el silenciador del buque. La reducción de NO_x a N₂ Y H₂O se lleva a cabo a temperaturas de escape que oscilan entre 270 y 500 °C, ya que una mayor temperatura podría provocar un daño térmico al catalizador.

La SCR puede ser utilizada separadamente o en combinación con otras tecnologías de control de combustión de NO_x tales como quemadores de bajo NO_x y requemado de gas natural.

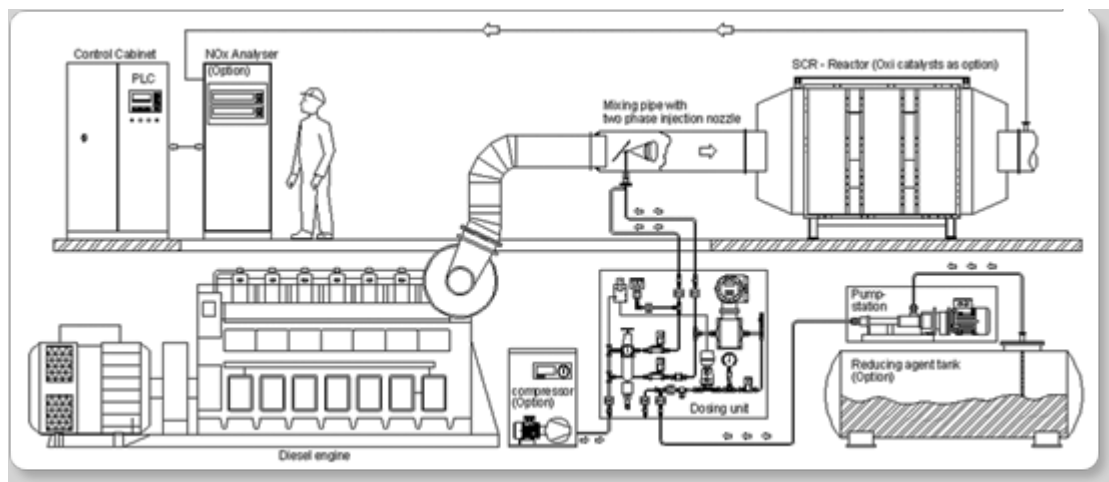


Ilustración 14- Esquema general de sistema SCR

Fuente: Filtrosdiesel, (2018)



Ilustración 15- Estructura interna y externa de un sistema SCR

Fuente: Filtrosdiesel, (2018)

Es por todo ello por lo que la reducción selectiva catalítica es considerada uno de los mejores sistemas para el control de NO_x, ya que es capaz de reducir las emisiones de NO_x hasta 5 ppm.

La grafica siguiente muestra los elementos que conforman un sistema SCR:

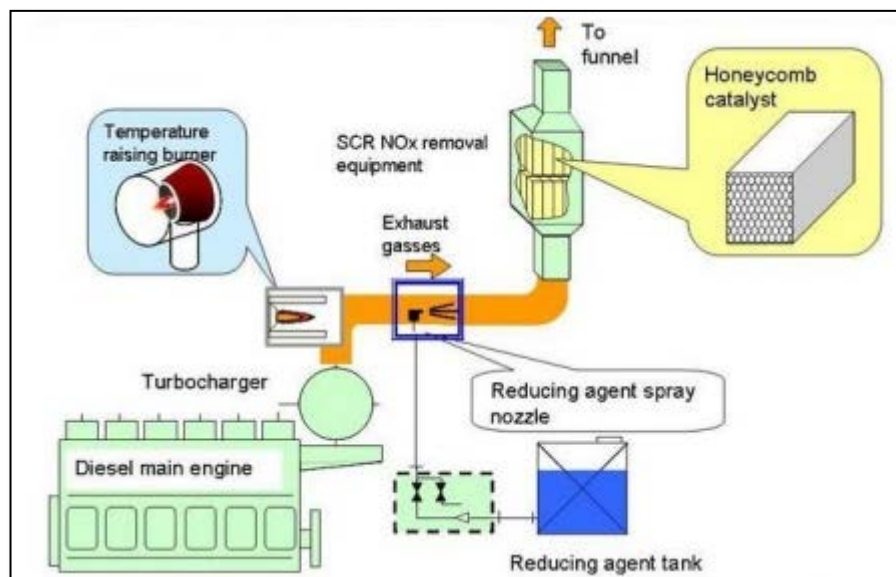


Ilustración 16. Disposición de un SCR

Fuente: TechnicalCourses, (2018)

- **SISTEMA DE INYECCION:** se encarga de suministrar el reductor a la corriente de gas de combustión. Es el responsable de que se aporte en la proporción correcta para asegurar la máxima reducción de emisiones NO_x. Esto se consigue gracias a un módulo de administración de agente reductor y a la bomba inyectora que lo introduce en el flujo de gases. El módulo de administración integra varios sensores (de nivel, de temperatura, ...) con el objetivo de controlar el estado del agente reductor que se está aportando, además de un filtro que elimina cualquier partícula del flujo. La bomba inyectora aporta el agente reductor a alta presión, con un grado de pulverización determinado para cada régimen de flujo.
- **AGENTE REDUCTOR:** como hemos dicho antes, los más típicos son el amoníaco y la urea. Se encuentra almacenado en un recipiente del que aspira la bomba de inyección. Deberá mantenerse en unas condiciones adecuadas de almacenamiento para evitar su deterioro.
- **AGENTE CATALIZADOR:** es el elemento el cual hace posible la reacción, acelerando el proceso químico para que tenga lugar a las velocidades que el flujo de gases de combustión requiere. La elección de este viene determinada según los criterios de conversión de NO_x requerida, con el fin de cumplir la normativa vigente. Existen varios tipos de agentes catalizadores, en cuanto a materiales (metal, cerámica) y a disposición (laminar, panel). Podemos distinguir principalmente tres tipos de catalizadores utilizados en sistemas SCR: metales nobles (operan entre temperaturas de 175 y 290°C), metales de transición (operan entre temperaturas de 260 y 450°C) y zeolitas (operan a altas temperaturas).

Los metales nobles, platino (Pt) o paladio (Pd), como catalizadores, tienen un poder reductor mayor sobre los óxidos de nitrógeno, pero son menos selectivos que los metales de transición, por lo que tiene tendencia a reaccionar con el dióxido de sulfuro. A días de hoy los materiales mas utilizados en sistemas SCR son principalmente los óxidos metálicos, generalmente de cobre, cromo o hierro, soportados sobre bases de alúmina,

silica o dióxido de titanio, la composición del catalizador y sus propiedades físicas determinan el rango de funcionamiento del sistema, y por consiguiente la cantidad de agente requerido y el coste de la instalación.

- **SOPLADOR:** a veces es necesaria la instalación de un soplador de hollín cuando las emisiones de gas de combustión producen altos niveles de materia particulada. Estos dispositivos son instalados en el reactor del SCR para reducir el depósito de materia en el catalizador y su consiguiente reducción de rendimiento.
- **PRETRATAMIENTO DE LOS GASES DE COMBUSTION:** dependiendo de la temperatura de los gases de escape, es posible que sea necesario la instalación de un calentador que aumente la temperatura de dichos gases a los rangos de funcionamiento del elemento catalizador.

A continuación, se muestran las principales ventajas e inconvenientes de los sistemas SCR frente a los sistemas SNCR.

En cuanto a *ventajas* podemos destacar las siguientes:

- Reducciones más altas de NO_x en comparación a los quemadores de bajo NO_x y la Reducción Selectiva No Catalítica (Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR)
- Es aplicable a fuentes con bajas concentraciones de NO_x
- Las reacciones ocurren dentro de un rango de temperatura más bajo y más amplio que en la SNCR
- No requiere modificaciones a la unidad de combustión

En cuanto a *desventajas* del sistema SCR frente al SNCR destacaría las siguientes:

- Costos de capitales y de operación significativamente más altos que los quemadores de bajo NO_x y la SNCR
- Se requieren grandes cantidades de reactor y catalizador
- Puede requerir limpieza del equipo corriente abajo.

Una vez ya conocidos los diferentes métodos para reducir las emisiones NO_x, cabe destacar un estudio realizado por un laboratorio móvil y publicado en la revista '*Atmospheric Measurement Techniques*' en el que se estudiaron las características de las emisiones gaseosas y partículas para un total de 11 buques con diferentes métodos de reducción de emisiones, que operan regularmente en el Mar Báltico, para determinar así, los parámetros de emisión. Como resultado obtuvieron que los buques equipados con SCR tenían las emisiones de NO_x más bajas; mientras que los barcos con inyección directa de agua o DWI y HAM, tenían las emisiones más bajas de SO₂ pero las emisiones de partículas más elevadas.

Para todos los buques, el contenido promedio de azufre en el combustible fue inferior al 1% pero ninguno fue inferior al 0.1%, que es el límite máximo establecido en 2015 en las áreas del control de emisiones SO_x; esto indica que los barcos que operan en el mar Báltico se enfrentarán a grandes desafíos. (Pirjola, L., et al, 2014)

3.4 SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES SO_x

El reequipamiento con depuradoras de gases en los buques existentes que ya están contruidos y que navegan en zonas ECA junto con las nuevas regulaciones futuras respecto al azufre, serán los mayores desafíos para los armadores, quienes tendrán que realizar un estudio para calcular la cantidad de combustible que consumen dentro de la zona ECA, así como el tiempo de vida útil del buque. Estos dos aspectos serían, a primera vista, los principales a la hora de evaluar que tecnología es la más adecuada y/o rentable para disminuir las emisiones.

A continuación, se explican algunos de los métodos que existen para reducir las emisiones de SO_x:

- El uso de combustible con bajo contenido de azufre
- Tecnología de limpieza de gases

3.4.1 USO DE COMBUSTIBLE CON BAJO CONTENIDO DE AZUFRE

El término combustible bajo en azufre es un término impreciso, que se utiliza comúnmente para describir combustible destilado en vez de combustible residual. El concepto ``destilado`` se refiere a un combustible diésel ligero, refinado, con un contenido de azufre de 0.5% o menos. El término ``residual`` hace referencia a los combustibles pesados refinados menores, que actualmente tienen contenidos de azufre de alrededor de 2.5%. A continuación, se muestra una lista con la definición y descripción de los combustibles diésel:

- **IFO 380:** combustible intermedio con una viscosidad máxima de 380 centistokes (<3,5% de azufre)
- **IFO 180:** combustible intermedio con una viscosidad máxima de 180 centistokes (<3,5% de azufre)
- **LS 380:** bajo contenido de azufre (<1,0%) fuel oil intermedio con una viscosidad máxima de 380 centistokes.
- **LS 180:** bajo contenido de azufre (<1,0%) fuel oil intermedio con una viscosidad máxima de 180 centistokes
- **MDO:** diésel marino de aceite
- **MGO:** gasóleo para uso marítimo
- **LSMGO:** bajo contenido de azufre (<0,1%) gasóleo para uso marítimo
- **ULSMGO:** combustible de ultra bajo azufre del gas marino referido como diésel ultra bajo azufre (azufre 0,0015% máx.).

La utilización de combustibles con bajo contenido de azufre para la reducción de emisiones SO_x, aun siendo a simple vista, solo un cambio de combustible la operación necesaria para la utilización de este método requiere muchas veces la necesidad de un saneamiento y modificación de algún tanque existente para la utilización exclusiva de combustibles de bajo contenido de azufre para evitar su contaminación.

Sin embargo, los armadores cuyos barcos realicen escalas puntuales en zonas ECAs deciden utilizar en dichos tránsitos un combustible de alta calidad con bajo contenido de azufre (aumenta un 40% el precio del combustible) que no implantar una instalación de forma definitiva.

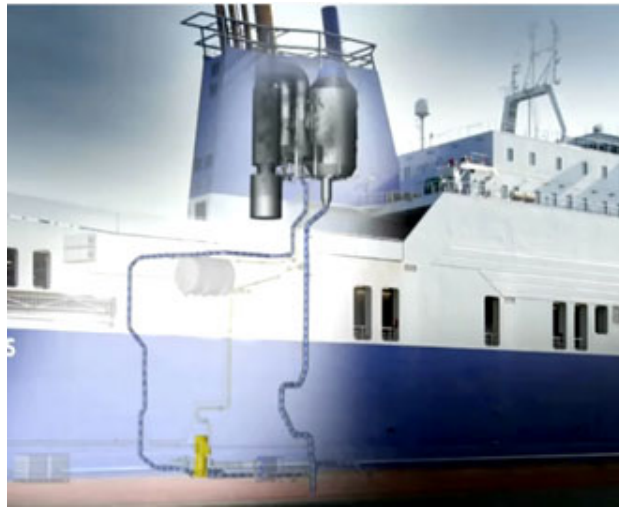
El uso de combustible diésel de bajo contenido de azufre para cumplir con los requisitos de la ECA se puede hacer de dos maneras:

1. Cambiar a combustible diésel de bajo contenido de azufre antes de entrar en la zona de control de emisiones.
2. Utilizar combustible de bajo contenido de azufre en todo momento.

3.4.2 TÉCNICAS DE LAVADO DE GASES DE ESCAPE (SCRUBBER)

El lavado de gases o scrubber es la tecnología mediante la cual se limpia una emisión gaseosa de los contaminantes que contiene. Habitualmente, las moléculas de contaminante del aire son separadas del flujo gaseoso al entrar en contacto con un líquido, que puede ser agua, un reactivo químico o una combinación de éstos. El flujo gaseoso, una vez lavado, está libre de contaminantes y puede ser emitido a la atmósfera. El contacto del contaminante con el líquido depende del tipo de lavador y puede ser por empaque húmedo, burbujeo, aerosol, etc.

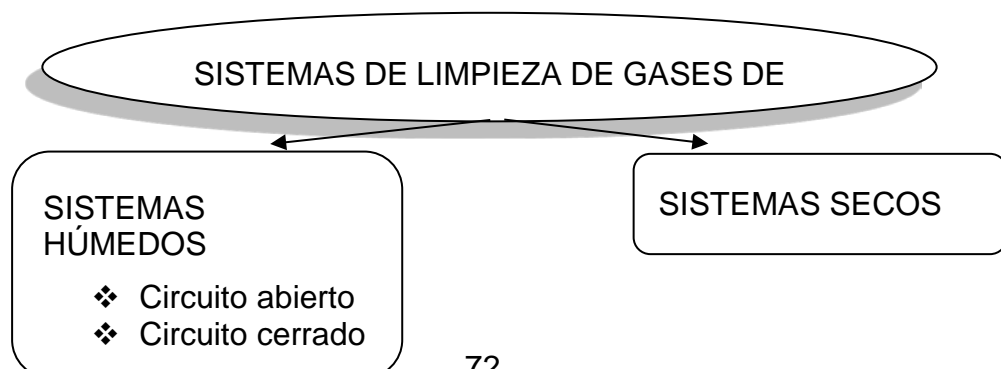
Generalmente, el lavado de gases se utiliza para eliminar contaminantes del aire como olores, vapores, gases tóxicos, etc. Para ello, en la mayor parte de los casos, los contaminantes presentes en los gases son susceptibles de ser oxidados o absorbidos en un medio ácido o en un medio alcalino. Así, las especies derivadas del nitrógeno pueden ser absorbidas en un medio ácido, mientras que las especies derivadas del azufre son sensibles a la absorción en un medio alcalino u oxidante. En algunos casos, los contaminantes son muy solubles en agua, por lo que no se precisa ningún reactivo químico. (Condorchem, 2018)

*Ilustración 17. Scrubber**Fuente: Puertos y navieras, (2018)*

Los scrubbers o lavadores de gases son sistemas de depuración para emisiones atmosféricas que se usan principalmente para eliminar tanto partículas como gases que se generan durante procesos industriales.

En caso de emisión de gases contaminantes, estos se introducen dentro del scrubber, que se habrá llenado previamente y de forma parcial con un líquido que absorberá los contaminantes que se encuentren presentes en el gas. de este modo, y una vez libre de contaminantes, el gas puede volver a ser emitido a la atmósfera.

Existen numerosos diseños de sistemas marinos de limpieza de gases (scrubbers) y que podemos clasificar en dos grandes grupos como muestra el siguiente esquema:



La mayoría de estos sistemas tienen tres componentes básicos:

- Un recipiente que permite que el flujo de gases de escape, de los motores o calderas, sean bien mezclados con el agua (agua dulce como agua salada). Por razones de espacio disponible y acceso, las unidades de limpieza de gases de escape suelen estar situadas en la parte alta del buque.
- Una planta de tratamiento encargada de eliminar los contaminantes del 'agua de lavado' después del proceso de limpieza.
- Una instalación de recepción de lodos. Los lodos eliminados por la planta de tratamiento deben ser retenidos a bordo hasta la recepción en tierra, no pudiendo ser quemados a bordo en los incineradores del buque.

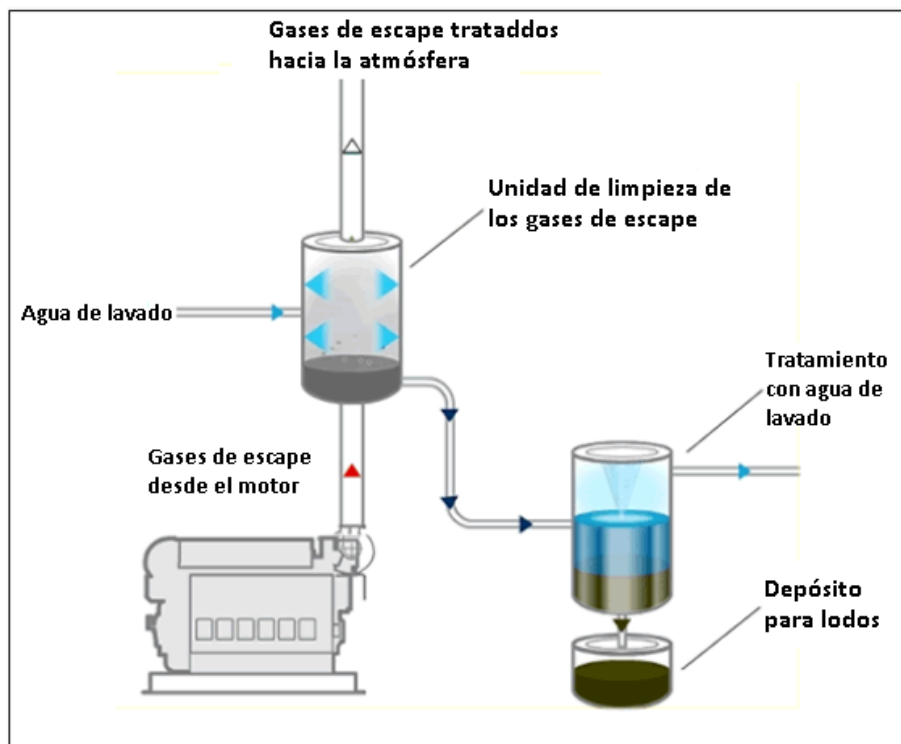


Ilustración 18. Esquema de los componentes básicos de un sistema de limpieza de gases de escape.

Fuente: EGCSA, (2018).

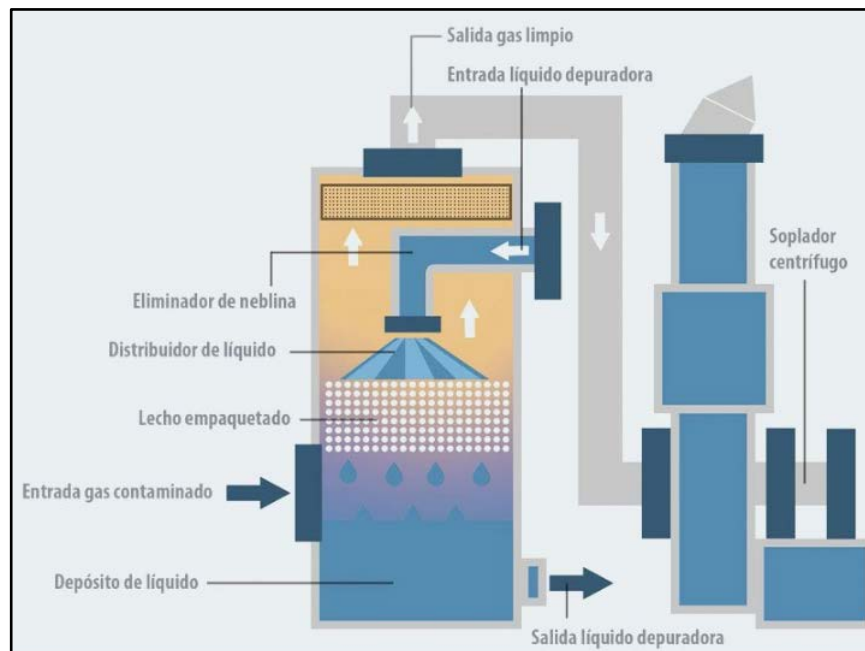


Ilustración 19. Esquema de funcionamiento de un scrubber

Fuente: García, R., (2018)

Actualmente existen unos 24 fabricantes de depuradores de gases que ofrecen su servicio al sector marino. Los principales fabricantes y suministradores de estas tecnologías la encabeza uno de los mayores fabricantes de motores Wärtsilä, seguido de Alfa Laval. En la tabla 10 se muestran los principales fabricantes de scrubber destinados al sector marítimo: (Peña Aleman, H., 2016).

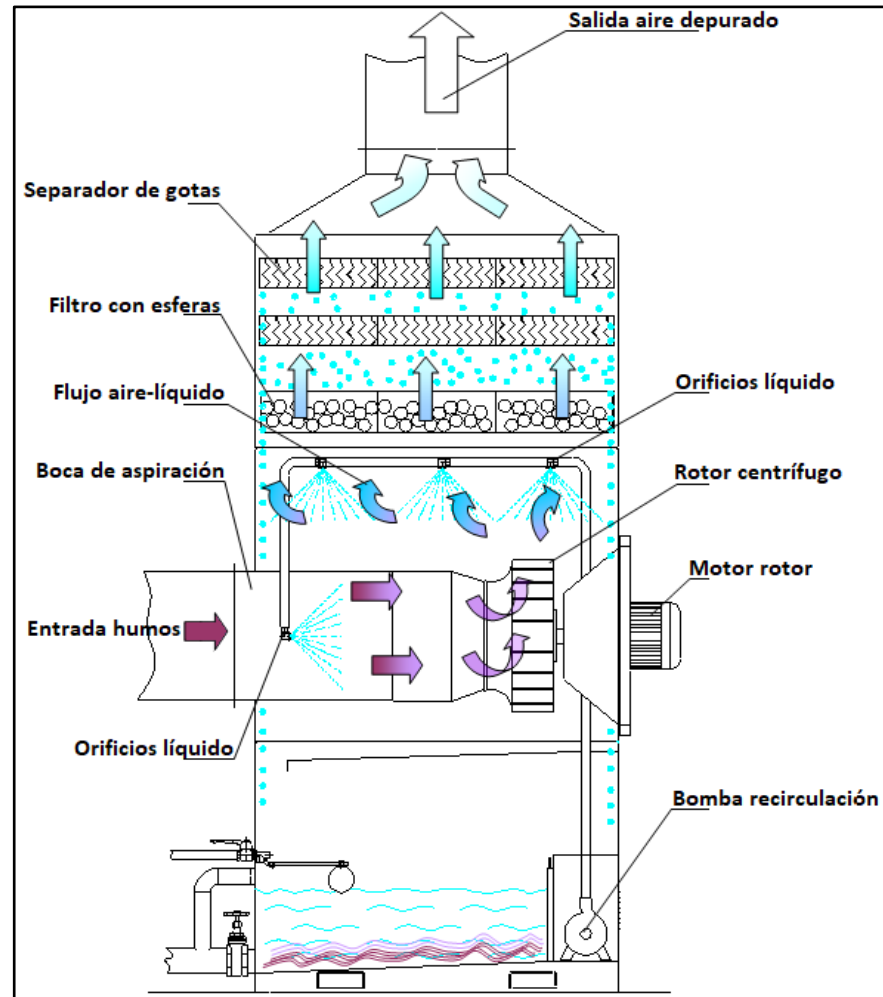


Ilustración 20: Esquema de las partes de un scrubber

Fuente: Gemata, (2018)

Tabla 10. Principales fabricantes de Scrubbers.

Fuente: Peña Aleman, H., (2016).

PRINCIPALES FABRICANTES	Nº DE SCRUBBER INSTALADOS EN BARCOS (hasta el 2016)
Wärtsilä	38
Alfa Laval	31
CR OceanEngineering	14
Hamworthy	11
Clean Marine	10
Green Tech Marine	8
Marina ExhaustTechnology	8
AEC Maritime	7
DuPont	7
DeltaLangh	3
CoupleSystems	1
Saacke	1

A continuación, se describen los diferentes tipos de scrubbers anteriormente nombrados:

3.4.2.1 Scrubber de tipo seco

La mayoría de los sistemas instalados a bordo se basan en el método de scrubber tipo húmedo, mientras que la posibilidad de instalar un scrubber de

tipo seco últimamente también se está desarrollando en el sector marítimo. Estos sistemas pueden llegar a eliminar hasta un 99% del SO_x.

Los sistemas secos utilizan el hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), cal muerta o apagada como medio de lavado, dando lugar a sulfato de calcio (CaSO₄).

Mediante este proceso se eliminan los óxidos de azufre y las partículas sólidas, circulando los gases de escape horizontalmente por el lecho de cal, permitiendo una optimización de la reacción.

Se trata de una reacción exotérmica, es decir, libera calor a los gases de escape durante el proceso.

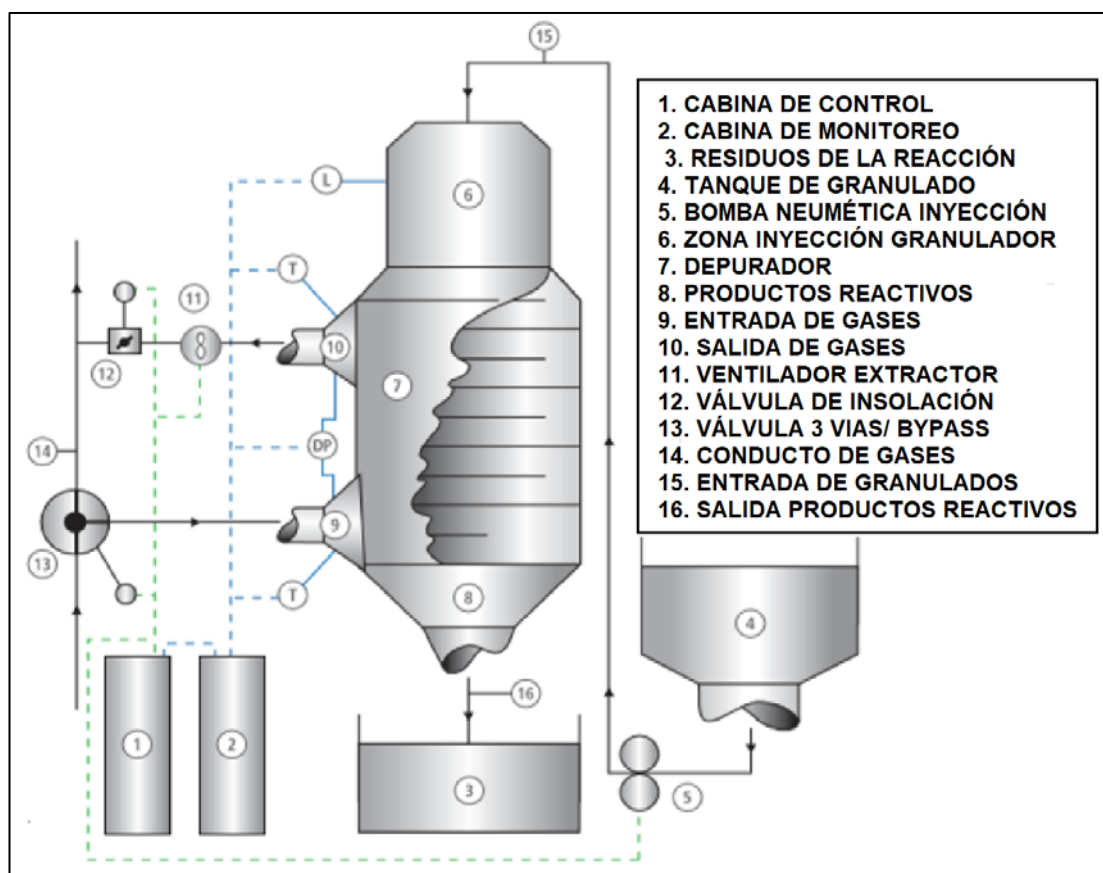


Ilustración 21. Principales componentes del depurador de gases tipo seco

Fuente: Peña Aleman, H., (2016).

Algunas de las ventajas de este tipo de sistema son:

- El consumo energético del sistema es mínimo
- Se pueden eliminar tanto los NO_x como los SO_x con un solo sistema de limpieza de gases de escape, y de esta manera cumplir con las normativas
- El material utilizado es en forma granulado, por lo que es de manejo más fácil y reciclable
- Con este sistema no se transmiten contaminantes al mar durante su uso

3.4.2.2 Scrubber de tipo húmedo

Este tipo de sistemas fueron los que primero se empezaron a utilizar tanto en tierra como en el sector naval. Funciona poniendo en contacto directo las sustancias contaminantes que se encuentran en los gases de escape con la solución de lavado, en este caso agua. A diferencia del seco, este sistema no satura los gases de escape de la combustión con la humedad. (Gomez, B., 2013)

A continuación, se muestran los principales componentes de este tipo de sistema:

- **Torre de lavado:** conducto de gran tamaño en el que se reúnen los gases de escape para mezclarlos con el agua. Debido a su gran tamaño, se localizan en las partes altas del buque, generalmente, en las proximidades de la chimenea.
- **Planta de tratamiento:** una vez realizada la limpieza de los gases de escape, se procederá a eliminar los contaminantes del agua de lavado.
- **Tratamiento de lodos:** los residuos recogidos por la planta de tratamiento del agua de lavado no pueden ser quemados por lo que deberán ser almacenados para su eliminación en tierra
- **Sistema de monitoreo de control de la scrubber y de las emisiones**

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

A continuación, se describirán los dos modos de funcionamiento: en circuito abierto y en circuito cerrado.

3.4.2.2.1 Scrubber tipo abierto

Cuando hablamos de un sistema de limpieza de circuito abierto en un buque, el agua utilizada para la limpieza de los gases de escape es salada, se recoge directamente del mar, aprovechando su natural alcalinidad para así neutralizar los SO_x, que luego será descargado de nuevo al mar. Esto implica la menor cantidad de equipos, lo que supone un menor coste de inversión y una instalación más sencilla. (Peña Aleman, H., 2016)

Sin embargo, este tipo de sistema presenta un gran inconveniente y es que, en zonas de baja alcalinidad, tales como las aguas del norte del Mar Báltico, no surte efecto del todo a la hora de eliminar las emisiones contaminantes. Además, su uso puede estar limitado por la legislación de descarga local respecto a fuentes.

La imagen siguiente muestra el esquema de funcionamiento e un scrubber tipo húmedo funcionando en circuito abierto:

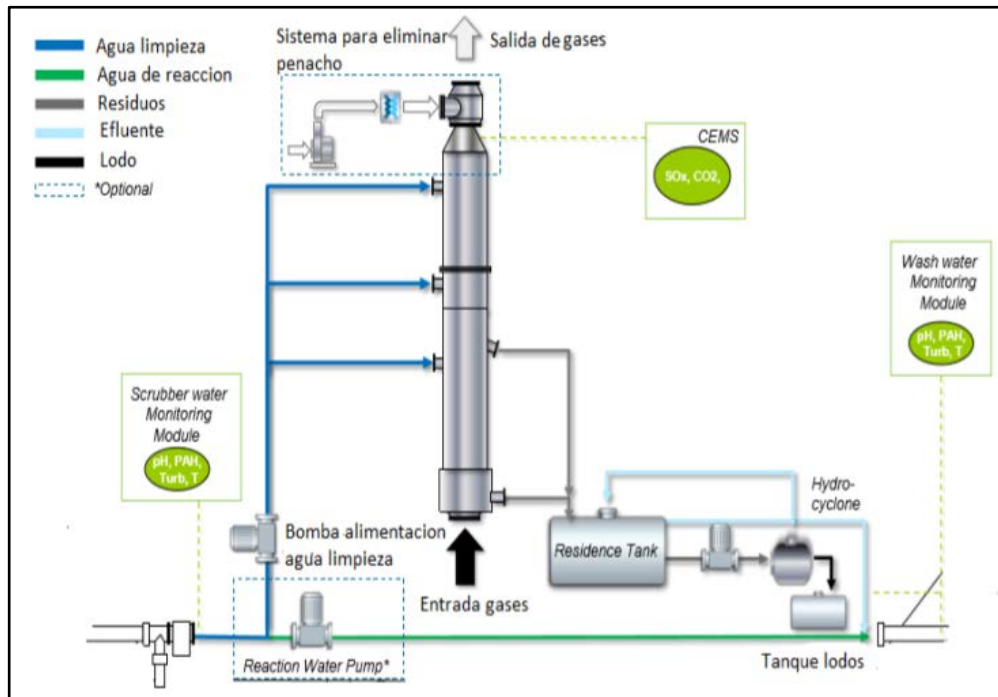


Ilustración 22. Sistema de funcionamiento de un limpiador de gases de tipo abierto

Fuente: Wärtsilä, (2018)

Los principales componentes del sistema son: (Peña Aleman, H., 2016)

- **Unidad de limpieza:** el cuerpo principal es un cilindro compuesto de una aleación de acero de alto grado para resistir la corrosión. Los gases de escape entran en el cuerpo principal a través de una o varias Venturi. Dentro de la unidad de lavado hay dos anillos de boquillas de pulverización, con dos capas separadas de lechos de relleno. Estas capas ayudan a los gases de escape a entrar en contacto con el agua de lavado pulverizada desde las boquillas.
- **Bomba de agua:** las bombas de agua de limpieza se instalan para transportar el agua del mar desde la caja de mar al depurador.
- **Módulo de monitoreo del agua de limpieza:** se colocan tanto a la entrada como a la salida del depurador de sistema abierto y nos permiten comprobar parámetros como el pH, el PAH, la turbidez y la temperatura, tanto de la entrada como de la salida, y así compararlos.

- **Tanque de residencia:** este tanque tiene como objetivo principal proporcionar un periodo de residencia de las aguas de lavado para permitir que el gas y el aire se separen del agua para facilitar la separación en los hidrociclones de los productos de la combustión que se encuentran en la corriente de gas y posteriormente enviados al tanque de retención de lodos, es por ello por lo que se deberá revestir internamente para resistir los efectos de la corrosión.
- **Hidrociclones:** se utilizan para limpiar el agua de lavado de un sistema de circuito abierto. Los contaminantes se separan en un tanque de lodos y el agua depurada puede ser descargada al mar.
- **Bomba de retorno de agua de lavado:** estas bombas se instalan con el fin de proporcionar la presión diferencial necesaria a través de los hidrociclones y en algunos casos para ayudar a la descarga excesiva de agua de lavado.
- **Tanque de lodos:** son contenedores a granel intermedios (IBC)
- **Ventilador de gases de escape:** en algunos casos necesaria la instalación de un ventilador para aspirar los gases de escape de la unidad de lavado. Tiene por objetivo mantener una pequeña baja presión en el lado de los gases de escape de derivación para asegurar que el flujo de gases esta siempre hacia la torre de lavado, y no a la atmosfera.
- **Sistema continuo de monitoreo de emisiones (CEMS):** Se instala para medir el CO₂ y SO₂, y así garantizar que la eliminación de SO_x en el lavador está cumpliendo con los requisitos establecidos por la OMI.

3.4.2.2.2 Scrubber tipo cerrado

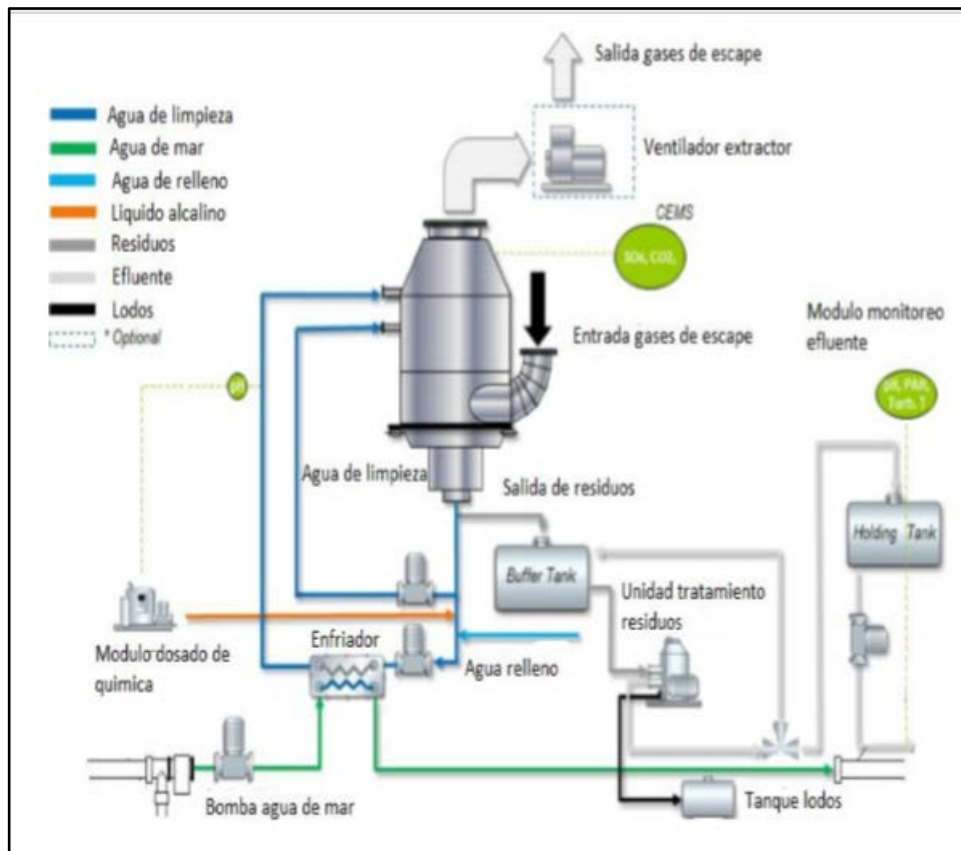


Ilustración 23. Circuito de limpieza de gases tipo cerrado

Fuente: Wärtsilä, (2018)

En ciertas ocasiones, cuando las condiciones del agua no son las adecuadas (por ejemplo: baja alcalinidad) no es viable operar en circuito abierto. Es por ello que se opera en modo de circuito cerrado, utilizando agua dulce que ha sido tratada con producto químico alcalino, como el hidróxido de sodio (NaOH). (Gomez, B., 2013)

Los SO_x de los gases de escape al entrar en contacto con la mezcla, reaccionan y se neutralizan. Del circuito cerrado de agua, se extrae una pequeña cantidad para ir purgando el circuito y es tratada con el fin de cumplir con los requisitos estipulados por la OMI.

Los efluentes limpiados pueden ser descargados de manera segura por la borda sin perjudicar al medioambiente marino. Mientras que si se requiere durante la navegación o fondeo del barco el modo de operación sin descargas al mar (descargas nulas), entonces los efluentes pueden ser guardados en un tanque hasta la descarga programada en puerto (Sin, M., 2014)

Pero este sistema presenta unos inconvenientes que caben sopesar a la hora de decidirse sobre un método u otro, y son:

- Necesidad de instalación de un equipo adicional
- Coste de funcionamiento más alto ya que requiere agua dulce y aditivos

En cuanto a los componentes del sistema depurados de circuito cerrado son los siguientes: (Peña Aleman, H., 2016)

- **Tanque de retención:** en situaciones operativas donde se evita la descarga de efluentes, el efluente puede ser desviado desde el módulo de control de efluentes (EMM) a un tanque de retención para la descarga más tarde programada y periódica.
- **Módulo de alimentación alcalino:** el compuesto alcalino se añade automáticamente a la circulación del agua de lavado para mantener el pH del proceso y por lo tanto la eficiencia de remoción de SO_x. El módulo de alimentación alcalina se compone de dos bombas de dosificación de productos químicos. Una bomba está normalmente en funcionamiento y la otra como stand-by
- **Intercambiador de calor:** el calor de los gases de escape se transfiere al agua de lavado y su temperatura se disminuye en el intercambiador de agua de mar. El propósito de este enfriamiento es reducir al mínimo el contenido de agua de los gases de escape depurados para evitar la formación del humo blanco por la chimenea.

3.4.2.2.3 Scrubber tipo híbrido

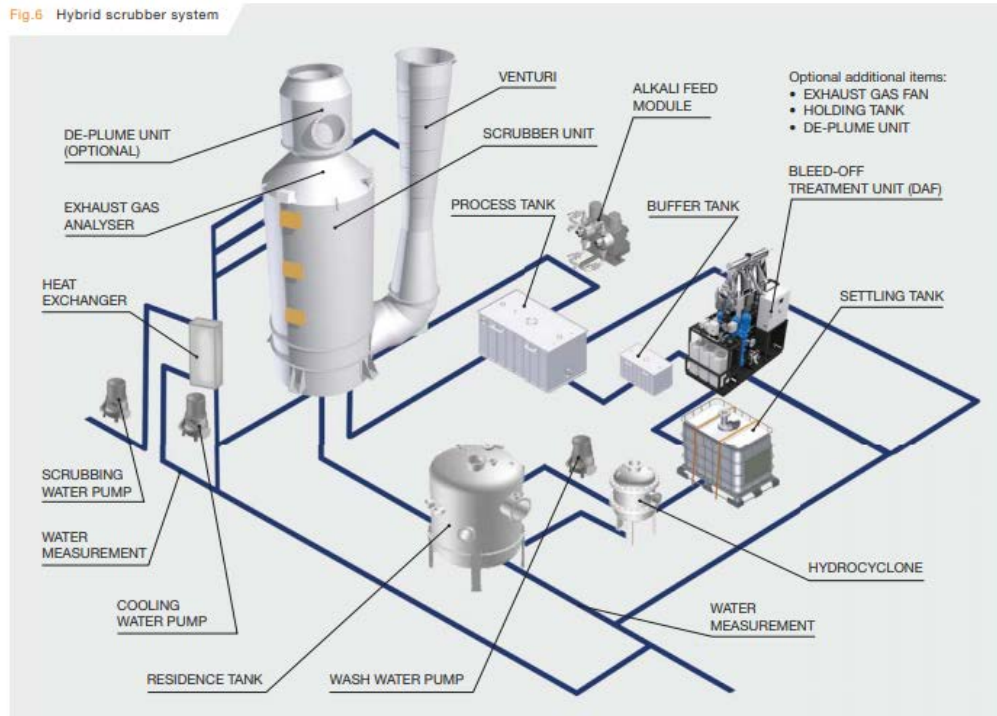


Ilustración 24. Componentes de un scrubber de tipo híbrido

Fuente: Wärtsilä, (2018)

Se trata de un sistema que opera tanto en sistema cerrado como en sistema abierto, utilizando agua de mar para la limpieza de los SO_x.

Cuando trabaja en modo de circuito abierto, el agua de mar se mezcla con los gases de escape tal como hemos explicado anteriormente, y no se requiere ningún aditivo químico para la reacción de neutralización gracias a la alcalinidad natural del agua de mar (NaOH).

La ilustración siguiente muestra el sistema de funcionamiento de un sistema híbrido:

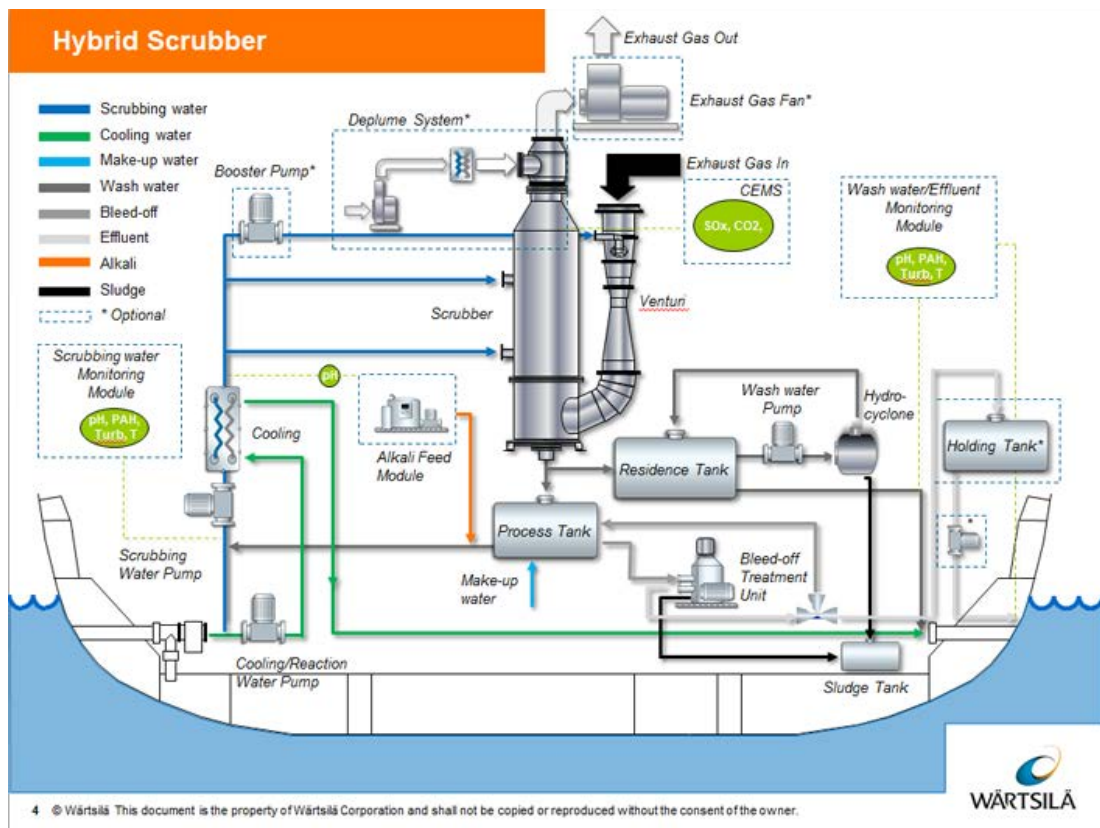


Ilustración 25. Esquema de funcionamiento de un scrubber híbrido

Fuente: Wärtsilä, (2018)

En cuanto a las ventajas y desventajas que presenta este tipo de sistema caben destacar las siguientes:

Ventajas:

- Alta eficiencia en la eliminación de partículas solidas
- Requiere poco mantenimiento
- Tratamiento de gases corrosivos
- Mayor tolerancia ante distintos rangos de humedad y temperatura si los comparamos con otros sistemas

Desventajas:

- Alta caída de presión
- Generación de residuo líquido que contiene partícula so compuestos tóxicos (ceniza, ácidos, ...)

- Concentración de sustancia corrosivas en el interior del sistema

3.5 OTROS SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

3.5.1 USO DE GNL COMO COMBUSTIBLE



Ilustración 26. Barco impulsado por gas natural licuado.

Fuente: El Español, (2016)

A la vista de lo anterior podemos simplificar el problema diciendo que los óxidos de azufre dependen del combustible utilizado y que los óxidos de nitrógeno son un producto derivado de la tecnología del motor. Un combustible que resuelve, a la vez, estos dos problemas es el gas natural (LNG). (Guerrero, L., 2014)

Por su importancia desde el punto de vista de las emisiones de gases a la atmosfera vamos a destacar todas las ventajas que proporción el LNG como combustible marino:

- No genera SO_x, por lo cual no requiere de scrubbers para la limpieza de gases

- Prácticamente no genera emisiones de partículas
- Reduce un 80-90% las emisiones de NO_x
- Se reduce un 25% la emisión de CO_2

Se trata de un combustible muy limpio, cosa que ya sabemos porque por ese motivo disponemos de él en nuestras casas, pero ¿Qué pasa con los grandes medios de transporte como los buques? El transporte marítimo, tanto de mercancías como de personas, es un sector que apuesta por reducir las emisiones contaminantes con el uso del gas natural licuado: un combustible alternativo para buques que, a día de hoy, se mueven en su mayoría con combustibles derivados del petróleo, ya que es uno de los combustibles fósiles más respetuosos con el medio ambiente.

La siguiente imagen muestra las ventajas medioambientales del gas natural licuado:

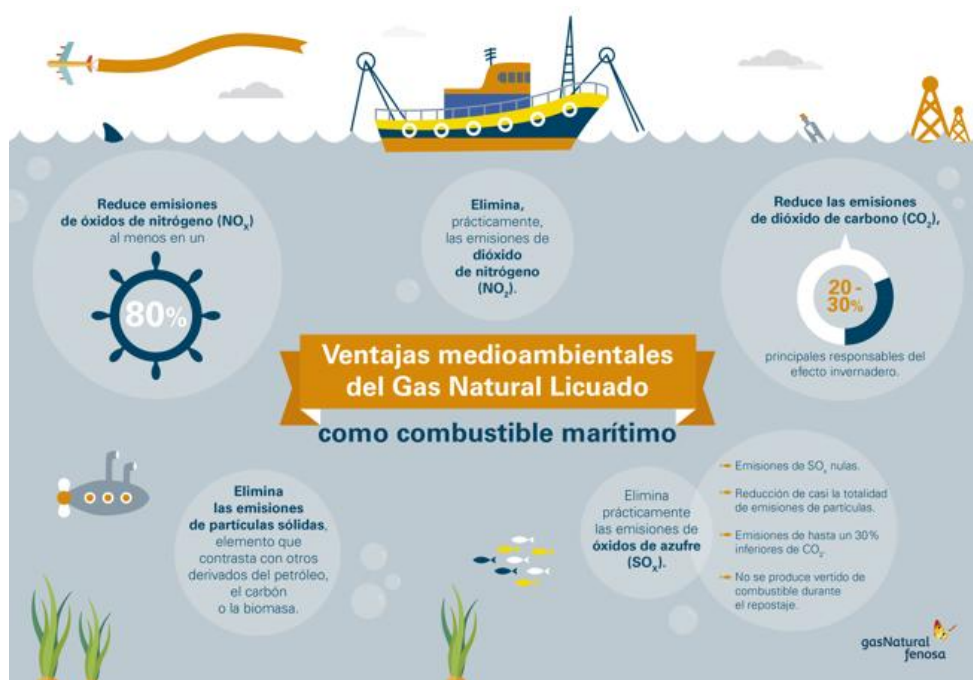


Ilustración 27. Ventajas medioambientales del Gas Natural Licuado como combustible marítimo

Fuente: Naturgy, (2018)

Además, en cuanto a las consecuencias económicas, el uso del GNL en el transporte marítimo conlleva un ahorro económico ya que el coste por kWh es menor que el del gasóleo y fuel.

El uso de gas natural licuado se postula como una alternativa real, ya que supone una mejora sustancial en las emisiones de NO_x y SO_x, y también, en menor medida, de las de CO₂. Sin embargo, su utilización obligaría a renovar la flota actual y plantea algunas dudas que deberán resolverse para que las navieras apuesten por ello. Es por ello por lo que el gas natural licuado se enfrenta a:

- La necesidad de un mayor espacio de almacenamiento a bordo
- La poca regulación que existe al respecto
- La falta de instalaciones portuarias de almacenamiento y suministro
- La dificultad en la operativa en comparación con el uso de combustibles líquidos
- El precio final del servicio, que algunas fuentes citan que representa un ahorro de entre el 30% respecto a los carburantes actuales.

El gas natural es un combustible fósil que procede de la descomposición de los materiales orgánicos subterráneos desde hace millones de años. El gas natural licuado resulta al enfriar el gas natural hasta el punto que se condensa a un líquido, dicho fenómeno ocurre a una temperatura de aproximadamente 161°C y a presión atmosférica. El resultado de la licuefacción es la reducción del volumen original en aproximadamente 600 veces, lo que conlleva a una reducción a la hora de transportarlo en largas distancias, en buques especiales LNG, donde sistemas tradicionales de transporte por tuberías serían menos atractivos económicamente y podrían ser técnica o políticamente no factibles.

En estado gaseoso, a presión atmosférica, el gas es más ligero que el aire y no es tóxico. La densidad del GNL es 0,47 y es transparente, inodoro y no corrosivo.

En España, el gas procede principalmente de Argelia 32,94%, Nigeria 19,76%, Qatar 14,39%, Noruega 10,46% y el resto de otros países.

Las características técnicas del gas natural utilizado como combustible para buques se resumen en los siguientes puntos: (Guerrero, L., 2014)

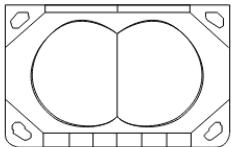
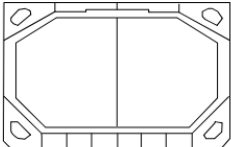
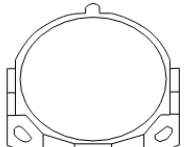
- Tiene un alto contenido de metano, lo que permite una gran potencia de propulsión;
- Es fácil mezclarlo con el aire para obtener una carga homogénea, así arde con alta velocidad. Esto evita las altas temperaturas de los picos y presiones durante la combustión, muy favorable en una la reducción de las emisiones de NO_x de hasta el 90 % en comparación con el diésel residual o diésel marino. También tiene una alta eficiencia.
- No contiene azufre, por lo tanto, no tiene emisiones de SO_x, ni de partículas.

Es por esto por lo que se espera que la demanda de buques con combustible de gas natural licuado aumente dramáticamente. Para ello es necesario llevar a cabo una investigación sobre el diseño del tanque de combustible LNG, ya que es uno de los componentes más importantes del sistema de suministro de combustible GNL. (Kim, T.W. et al, 2018)

Los tanques de combustible aplicados a los buques alimentados con GNL se clasifican en tanques tipo A, tipo B y tipo C. La imagen siguiente muestra una comparación entre estos tanques:

Tabla 11: Comparación de tanques para buques con GNL.

Fuente: Pirjola, L., et al, (2014).

Tank type	Independent cylindrical	Independent prismatic	MOSS type (independent spherical)
IMO tank type	Type C	Type A	Type B
Schematic structure			
Secondary barrier	No requirements	Complete	Partial
Characteristic	Pressurized at ambient or lower temperature	Fully refrigerated at atmospheric pressure	Fully refrigerated at atmospheric pressure
Notes	For small vessels less than approx. 20,000 m ³ capacity	For large vessels	For LNG carriers

Consciente de la conveniencia de darle un giro a su estrategia medioambiental, la Comisión Europea ha seleccionado el proyecto 'CORE LNGashive' para impulsar el uso del GNL como combustible habitual en el transporte marítimo. La iniciativa se beneficia por tanto de las ayudas del mecanismo 'Conectar Europa' para el desarrollo de la Red Transeuropea de Transporte, y recibirá fondos europeos por valor de 16,65 millones de euros.

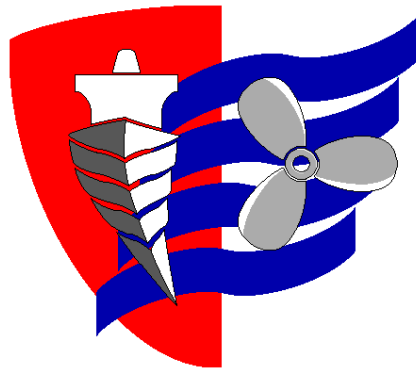
'CORE LNGashive', cuya inversión total es de 33,3 millones de euros, está promovido por Puertos del Estado y coordinado por Enagás, se presentó con 42 socios de España y Portugal. Hasta 2020, el objetivo es desarrollar una cadena logística integrada, segura y eficiente en la Península Ibérica para el suministro del gas natural licuado como combustible en el sector transporte, especialmente el marítimo. (Morales, G., 2016)



Ilustración 28. Planta de GNL gestionada por Enagás en el Puerto de Barcelona

Fuente: Enagás, (2018)

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



CONCLUSIONES

4 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha resumido y puesto a disposición de los lectores, los conocimientos básicos, respecto a los medios y sistemas utilizados en el sector marítimo, para reducir las emisiones de los gases contaminantes producidos por los buques, en particular las emisiones NO_x y SO_x, teniendo en cuenta las limitaciones regulativas de emisiones en las zonas de control, en las cuales, a partir del 2020 los límites de azufre serán del 0.5% a nivel global.

Dentro del concepto de gestión sostenible, la preservación y mejora de la calidad del aire es uno de los aspectos a considerar sin restarle importancia a los otros aspectos, por tanto, la industria naval debe buscar soluciones a sus procesos que perjudican considerablemente el ambiente atmosférico, encontrando soluciones que concilien economía, desarrollo social y respeto al entorno, en definitiva, practicar una gestión sostenible.

Por todo ello, se ha llegado a la conclusión de que lograr dichos objetivos requiere la necesidad de realizar inversiones, es por ello que los armadores se enfrentan a una serie de decisiones importantes, en términos de inversión, aunque podemos llegar a la conclusión que estas inversiones son retornables a medio plazo.

Para la reducción de estas emisiones existen diferentes sistemas, por lo que el armador deberá estudiar cual es el método que mejor le conviene según las necesidades y características del buque, así como su zona de navegación y otras características que deberá tener en cuenta para la elección. Los buques de nueva construcción, sin embargo, ya vienen equipados con los sistemas necesarios para la reducción de estas emisiones.

Los factores decisivos que influyen en la decisión de instalación de un depurador de gases (scrubber) son, principalmente, el costo y el tiempo de permanencia en una ECA. La instalación de un scrubber supone un gran costo por adelantado, a esto hay que sumarle los gastos de funcionamiento, por otro lado, supone un gran ahorro en gastos de combustible que pueden ser aun

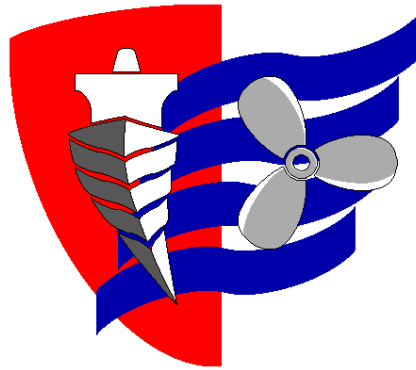
TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

mayores que los gastos de instalación. Además de esto, hay que tener en cuenta la vida comercial del barco antes de la toma de decisiones, debido a la incapacidad de amortizar la inversión antes del final de la vida útil del buque.

Si la decisión elegida es la opción de combustible significa que si navegan por las ECA tienen que usar combustible bajo en azufre, aunque este combustible tiene un futuro incierto en cuanto a su precio y disponibilidad.

Otro método para la reducción de emisiones NO_x y SO_x, es el uso de combustibles alternativos, como es el gas natural licuado (GNL). Es un combustible ecológico y actualmente se está fomentando su utilización. Aunque el uso de GNL como combustible se postula como una medida real, todavía le queda un largo camino que recorrer ya que para el uso de este combustible es necesario realizar dos operaciones, por un lado, se debe adaptar tecnológicamente los motores y los tanques de combustible, y por otro lado, es necesario desarrollar una cadena de aprovisionamiento completa que garantice suministro, por parte de los puertos.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



BIBLIOGRAFÍA

5 BIBLIOGRAFÍA

- BOE num. 41, (2006). Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-2779> Consultada en agosto 2018.
- BOE num. 83 (2011), capítulo 7. Disponible en: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/ec150311-maec.html Consultada: agosto 2018.
- BOE num. 93 (2015), pp. 34081-34090. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-4218 Consultada: agosto 2018.
- Castorani, J., (2012). Desastre del Buque Torrey Canyon. Disponible en: <http://ingmaritima.blogspot.com/2016/05/desastre-del-buque-torrey-canyon.html> Consultada en: julio 2018
- Clarivate Analytics, (2018). Web of Science. Disponible en: <http://wos.fecyt.es/> Consultada en: Agosto 2018
- Condorchem, (2018). Scrubbers. Condorchem envitech, smart ideas for wastewater & air treatment. Disponible en: <https://condorchem.com/es/lavadores-de-gases-scrubbers/> Consultada en: agosto 2018
- Dávila, L., (2017). Zonas ECA. Disponible en: <http://ingmaritima.blogspot.com/2017/06/zonas-eca.html> Consultada en: julio 2018
- Diaz, J. y Linares, G.. (2010) Las Causas de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes. Disponible en: <http://ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176118/Las-causas-de-la-contaminacion-atmosferica-y-los-contaminantes-atmosfericos-mas-importantes> Consultada en: agosto 2018
- DOCE, num. 121, (1999). Directiva 1999/32/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa a la reducción del contenido de azufre de

determinados combustibles líquidos y por la que se modifica la Directiva 93/12/CEE. pp.13-18. Disponible en:

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1999-80853>

Consultada en: julio 2018

- DOUE num. 132 (2016). Directiva (UE) 2016/802 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de mayo de 2016, relativa a la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2016-80865> Consultada: agosto 2018
- Ecodes, (2010). Las causas de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes. Calidad del aire y salud. Disponible en: <http://ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176118/Las-causas-de-la-contaminacion-atmosferica-y-los-contaminantes-atmosfericos-mas-importantes> Consultada en: julio 2018
- EGCSA, (2018). Exhaust gas cleaning systems association. Disponible en: <http://www.egcsa.com/> Consultada en: Agosto 2018
- El Español, (2016). Gas natural licuado: el futuro del transporte marítimo sostenible. Disponible en: https://www.elespanol.com/ciencia/20160630/136486733_0.html Consultada en: agosto 2018
- Elsevier, (1996). Scopus. Disponible en: <https://www.scopus.com/home.uri> Consultada en: agosto 2018
- Enagas, (2018). Plantas de regasificación: planta de Barcelona. Disponible en: http://www.enagas.es/enagas/es/Transporte_de_gas/PlantasRegasificacion/PlantaBarcelona Consultada en: agosto 2018
- EPA SCR, (2018). Tecnología de Control de la Contaminación del Aire. Reducción Catalítica Selectiva. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttnca1/dir2/fscrs.pdf> Consultada en: agosto 2018.

- EPA SNCR, (2018). Tecnología de Control de la Contaminación del Aire, Reducción Catalítica no Selectiva. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttn/catc1/dir2/fsncrs.pdf> Consultada en: agosto 2018
- Fernandez Diez, P., (2018). Control y eliminación de los NO_x. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/> Consultada en: agosto 2018
- FiltrosDiesel, (2018). Reducción Selectiva Catalítica Disponible en: <http://www.filtrosdiesel.cl/reduccion-catalitica-selectiva-scr> Consultada en: julio 2018
- FIS, (2010). Tecnología verde beneficiosa. Fish Information & Services. Disponible en: <http://www.fis.com/fis/techno/printable.asp?id=38195&l=s&ndb=1&print=yes> Consultada en: agosto 2018
- García, B., (2017). La calidad del aire en el Estado español durante 2016. Aire limpio. Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-calidad-aire-2016.pdf> Consultada en: agosto 2018
- Garcia, R., (2016). Convenio MARPOL. Blog del Barco de Papel. Disponible en: <https://barco-de-papel-bibliotecadenauticaull.blogspot.com/2016/10/convenio-marpol.html> Consultada en: agosto 2018
- Garcia, R., (2018). Ingeniero Marino. El Convenio MARPOL 73/78. Disponible en: <https://ingenieromarino.com/el-convenio-marpol-7378/> Consultada en: junio 2018
- Gemata, (2018). Scrubber- esquema depurador aire. Disponible en: https://www.gemata.it/a_33_ES_113_3.html Consultada en: agosto 2018
- Gomez, B., (2013). Instalación de sistema de reducción de emisiones NO_x y SO_x en un buque de pasaje. Proyecto fin de carrera. Universidad de Cantabria. pp. 31-38

- Guerrero, L. (2014). El gas natural como combustible marino. Bureau Veritas. Disponible en: http://gasnam.es/wp-content/uploads/2015/12/EL-GAS-NATURAL-COMO-COMBUSTIBLE-MARINO_OK_logo.pdf Consultada en: agosto 2018
- Hoyos Barreto, A.E. et al. (2008) Tecnologías para la reducción de emisiones de gases contaminantes en plantas cementeras. Revista Ingeniería e Investigación Vol. 28 num. 3 pp. 41-46
- ICS, (2014). International Chamber of Shipping, Disponible en: <http://www.ics-shipping.org/news/press-releases/view-article/2017/05/15/ics-commits-shipping-to-ambitious-co2-reduction-objectives> Consultada en: agosto 2018
- IMO NO_x (2018). Disponible en: [http://www.imo.org/es/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/paginas/nitrogen-oxides-\(nox\)-%E2%80%93regulation-13.aspx](http://www.imo.org/es/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/paginas/nitrogen-oxides-(nox)-%E2%80%93regulation-13.aspx) Consultada en: agosto 2018.
- IMO SO_x, (2018). Disponible en: [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93Regulation-14.aspx) Consultada en: agosto 2018
- IMO, (2018). History of IMO. Plan Estratégico de la OMI para el sexenio 2018-2023. Disponible en: <http://www.imo.org/es/About/HistoryOfIMO/Paginas/Default.aspx> Consultada en: agosto 2018
- Kim, T.W. et al., (2018). Design of Independent Type-B LNG Fuel Tank: Comparative Study between Finite Element Analysis and International Guidance. Vol. 5734172 Hindawi. pp. 1-14
- López, J.C. (2015). Desastres ambientales en el mundo: Accidentes nucleares, incendios forestales y derrames petroleros. Disponible en: <https://es.slideshare.net/napsterjc/desastres-ambientales-en-el-mundo> Consultado en: agosto 2018

- López, J.C., (2018). Petrolero “TorreyCanyon”. Crucero guía. Disponible en: <https://www.crucero guia.com/historias/petrolero-torrey-canyon/> Consultada en: julio 2018
- Margaret E.L. (2010). Tecnología Verde Beneficiosa. Disponible en: <http://fis.com/fis/techno/newtechno.asp?l=s&id=38195&ndb=1> Consultada en: agosto 2018
- Marpol, (2017). Libro de la OMI. Edición Refundada de (2017).
- Medina Mosegues, O.A., (2016). Emisiones de azufre en zonas ECA. Trabajo final de carrera. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/2519/Emisiones%20de%20azufre%20en%20zonas%20ECA.%20%20Procedimiento%20de%20cambio%20de%20combustible%20para%20buques%20RORO..pdf?sequence=1> Consultada en: julio 2018
- Mendoza, Y., (2018). Universidad Nacional de Cajamarca. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/385455241/informe> Consultada en: agosto 2018
- Morales, G. (2016). “Gas natural licuado: el futuro del transporte marítimo sostenible”. Revista: El Español. Disponible en: https://www.elespanol.com/ciencia/20160630/136486733_0.html Consultada en: agosto 2018
- Naturgy, (2018). Gas Natural Licuado. Disponible en: <http://www.prensa.naturgy.com/gas-natural-licuado/> Consultada en: agosto 2018
- Nautic Expo, (2018). Sistemas de reducción selectiva catalítica SCR. Disponible en: <http://www.nauticexpo.es/prod/panasia-co-ltd/product-36631-467957.html> Consultada en: agosto 2018
- Oliva de la Costa, E. (2016). “¿Cuánto contamina un buque?” Revista: Ingeniería Naval. Disponible en: <https://sectormaritimo.es/responsabilidad-medioambiental-eficiencia-del-transporte-maritimo> Consultada en: julio 2018

- OMI, (2013). Marpol. Anexo VI y Código NO_x, 2008 y directrices para la implantación. Publicación de la OMI.
- Orivet, A., et al, (2012) Implicaciones de las ECAs y las SECAs en la ciudad portuaria. Publicación de Portus. pp.7-9.
- Paulson, H. (1986). Medio ambiente. Disponible en: <http://tuinfomedioambiente.blogspot.com/> Consultada en: junio 2018
- Peña Aleman, H. (2016). Medidas para la reducción de gases contaminantes en motores marinos. Proyecto final de carrera. Universidad de Coruña. pp.73-92
- Pirjola, L., et al, (2014). Mobile measurements of ship emissions in two harbour areas in Finland. Atmospheric Measurement Techniques. Vol. 7 pp. 149-161.
- Praest, J. y Béjar, I. (2015). Noticias sobre Energía-Sostenibilidad. DYNA Energia y Sostenibilidad. Disponible en: <https://www.dyna-energia.com/noticias-sobre-energia-sostenibilidad/recirculacion-de-gases-de-combustion-y-otros-metodos-para-mantener-limpio-nuestro-medio-ambiente> Consultada en: julio 2018
- Prieto, I., (2018). Reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno. Universidad de Oviedo. Disponible en: http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1015/mod_resource/content/1/1C_C_12757_0910/04_GT17_Reduccin_de_NOX_en_humos.pdf Consultada en: julio 2018
- PRTR NO_x, (2007). Registro Estatal de Fuentes y Emisiones Contaminantes. Óxidos de nitrógeno. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html> Consultada en: julio 2018
- PRTR SO_x, (2007). Registro Estatal de Fuentes y Emisiones Contaminantes. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/SOx-oxidos-de-azufre,15598,11,2007.html> Consultada en: junio 2018
- Puertos y Navieras, (2018). Instalación de scrubber en buque ro-ro. Puertos y Navieras y Transporte Marítimo Disponible en:

TFG INGENIERÍA MARINA
ESTUDIO SOBRE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES NO _x Y SO _x

<http://www.puertosynavieras.es/noticias.php/La-UE-subvenciona-a-la-naviera-DFDS-para-que-instale-scrubbers-en-sus-buques-cl.-union-europea-azufre/42801#> Consultada en agosto 2018

- Sin, M., (2014). Análisis del transporte marítimo en el mar del Norte a enero de 2015. Proyecto final de carrera. Universidad de Barcelona. pp. 28-34
- TechnicalCourses, (2018). Métodos de control de emisiones en motores marinos. Consultada en: http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_index.php?pageNum_blogmostrar=12 Consultada en: agosto 2018
- UCChile, (2018). Fuentes de SO_x y NO_x. Universidad Católica de Chile. Disponible en: http://www7.uc.cl/sw_educ/contam/cont/cont15.htm Consultada en: julio 2018
- Wärtsilä, (2018). Web de Wärtsilä. Disponible en: <https://www.wartsila.com> Consultada en: agosto 2018
- Wells, P.G. (2017). The iconic Torrey Canyon oil spill of 1967 - Marking its legacy. Marine Pollution Bulletin. Vol. 115 pp. 1-2.

AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”